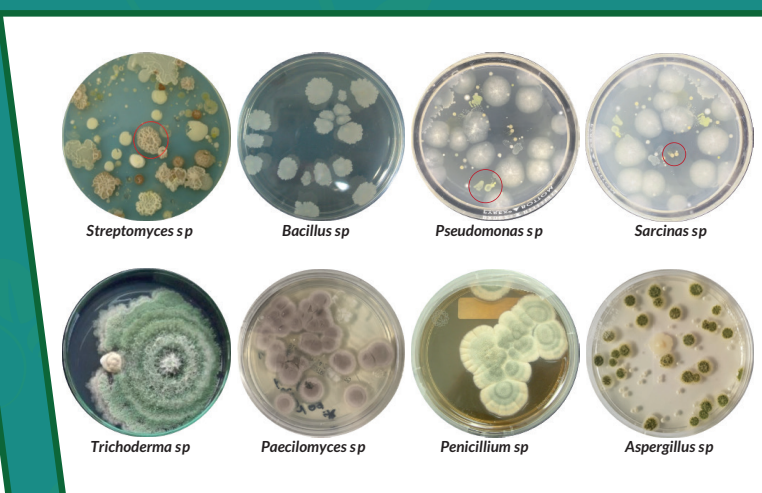
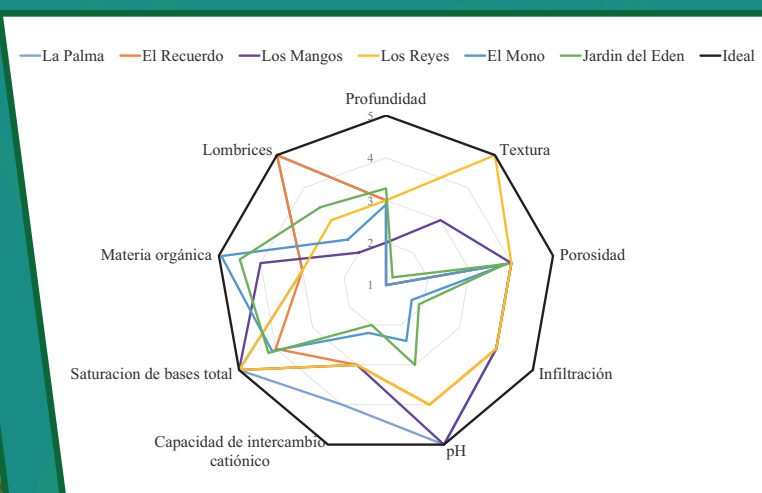




“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA



Agroecología y servicios ecosistémicos: aportes de la investigación interdisciplinaria

Editores: Dennis José Salazar Centeno, Leonardo José García Centeno,
Hugo René Rodríguez González y Juan Carlos Fernández Álvarez

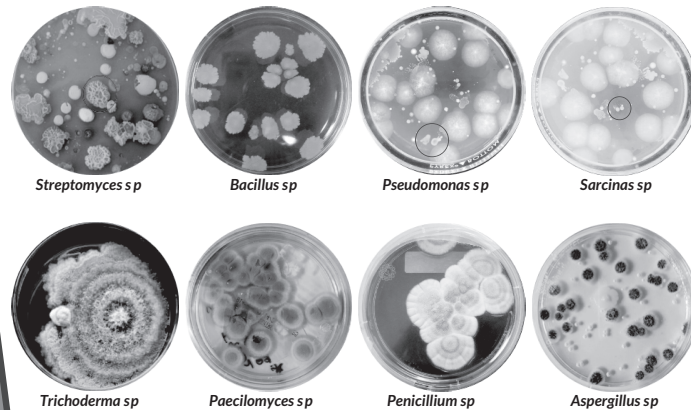
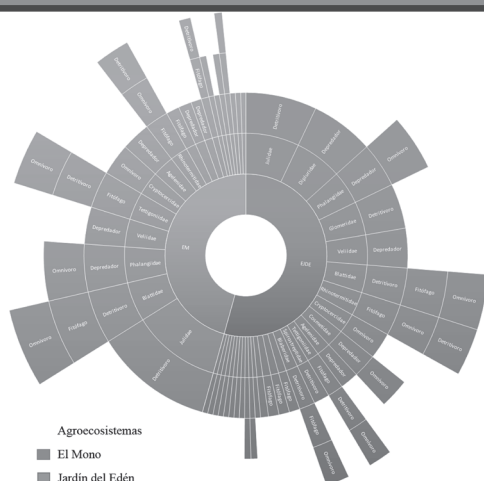
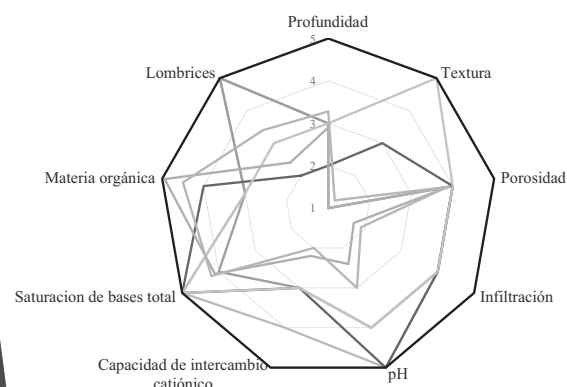


“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA



— La Palma — El Recuerdo — Los Mangos — Los Reyes — El Mono — Jardín del Edén — Ideal



Agroecología y servicios ecosistémicos: aportes de la investigación interdisciplinaria

Editores: Dennis José Salazar Centeno, Leonardo José García Centeno,
Hugo René Rodríguez González y Juan Carlos Fernández Álvarez

N

338.16

A281

Agroecología y servicios ecosistémicos :
aportes de la investigación
interdisciplinaria / Dennis José Salazar
Centeno, Leonardo José García Centeno,
Hugo René Rodríguez González y Juan Carlos
Fernández Álvarez editores. -- Managua :
UNA, 2021
1 recurso en línea (161 p.)

ISBN 978-99924-1-048-6

1. PRODUCTIVIDAD AGRICOLA 2. CONSERVACION DE
SUELOS 3. CONSERVACION DEL AGUA 4. ECOSISTEMAS

®Todos los derechos reservados 2021

©Universidad Nacional Agraria

Editores:

Dennis José Salazar Centeno, Doctor *Agriculturarum*, Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3281-2348>, dennis.salazar@ci.una.edu.ni

Leonardo José García Centeno, Maestría en Suelos. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3474-242X>, leonardo.garcia@ci.una.edu.ni

Hugo René Rodríguez González, Maestría en Ciencias de la Agroecología y Desarrollo Sostenible, estudiante del doctorado en ciencias de la agroecología, Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9672-7148>, hugo.rodriguez@ci.una.edu.ni

Juan Carlos Fernández Álvarez, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria.
<https://orcid.org/0000-0002-6209-6955>, juan.fernandez@ci.una.edu.ni

La UNA propicia la amplia disseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público y la sociedad en general obtenga el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en docencias, investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales de la UNA para fines académicos y no comerciales. Sin embargo, la UNA prohíbe la modificación parcial o total de este material y espera recibir los créditos merecidos por ellos.

La publicación de este e-book es posible gracias al apoyo financiero del proyecto de "Generación de capacidades de gestión, técnicas y productivas para el desarrollo integral de seis municipios del departamento de Río San Juan (RSJ)", auspiciado por el Consejo Nacional de Universidades (CNU).

Tabla de contenido

PRÓLOGO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I. METODOLOGÍA.....	10
1.1. Ubicación de las investigaciones interdisciplinarias y periodo del estudio.....	10
1.2. Diseño metodológico de las investigaciones interdisciplinarias.....	11
1.3. Proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres.....	12
1.4. Análisis de los datos.....	21
CAPÍTULO II. COMPLEJIDAD DE LOS DISEÑOS Y MANEJOS DE LOS ELEMENTOS DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS Y BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	25
2.1 Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva.....	26
2.2. Manejo y conservación del suelo.....	28
2.3. Manejo y conservación del agua.....	29
2.4. Manejo de intervenciones sanitarias en rubros productivos.....	30
2.5. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar.....	32
2.6. Elementos de la biodiversidad asociada.....	41
2.7. Coeficiente de manejo de la biodiversidad.....	43
CAPÍTULO III. GESTIÓN AGROECOLÓGICA DEL SUELO FUNDAMENTADA EN INDICADORES DE SU CALIDAD PARA PROMOVER SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	54
3.1. Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas.....	56
3.2. Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas.....	63
3.3. Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas.....	75
3.4. Comparación de los indicadores de calidad de los suelos de los agroecosistemas.....	77
3.5. Alternativas de gestión agroecológica de los suelos para promover bienes y servicios ecosistémicos.....	82
CAPÍTULO IV. MACROFAUNA: ANÁLISIS DE SU DIVERSIDAD ALFA, BETA, FUNCIONALIDAD, BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	89
4.1. Diversidad alfa.....	90
4.2. Diversidad beta	94
4.3. Funcionalidad de la macrofauna y servicios ecosistémicos.....	98
CAPÍTULO V. MICROBIOTA EDÁFICA: FUNCIONALIDAD, SIMBIOSIS, BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y PERSPECTIVAS.....	117
5.1. Diversidad y unidades formadoras de colonias.....	120
5.2. Funcionalidad de la microbiota edáfica en los agroecosistemas.....	123
5.3. Relaciones simbióticas de la microbiota edáfica en los agroecosistemas.....	131
5.4. Aportes de la microbiota edáfica a los servicios ecosistémicos.....	133
5.5. Perspectivas para la colección ex sito, caracterización metabólica y utilidad de la microbiota edáfica nicaragüense.....	135

CAPÍTULO VI. REFLEXIONES.....	143
GALERÍA FOTOGRÁFICA DEL INTERCAMBIO INTERDISCIPLINARIO HORIZONTAL DE SABERES Y HACERES.....	146
ÍNDICE DE FIGURAS.....	156
ÍNDICE DE CUADROS.....	158
ÍNDICE DE GALERÍA FOTOGRÁFICA.....	160

PRÓLOGO

En las primeras décadas del siglo XXI la humanidad ha enfrentado crisis económicas, sociales, políticas y climáticas. Se ha puesto de manifiesto la urgencia de transitar hacia modelos de desarrollo sostenible, basado en el paisaje, la preservación y restauración de los ecosistemas naturales y agrícolas, la economía circular y el cierre de brechas sociales, entre otros.

La producción de alimentos y bienes agrícolas son pilares fundamentales para la sostenibilidad de la raza humana. La forma en que se producen, distribuyen y consumen los alimentos, así como la gestión de los desperdicios, ha sufrido grandes cambios en los últimos tiempos, amenazando crecientemente la sostenibilidad. Por lo anterior, en 2021 ha sido convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas la “*Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios*” con el objetivo de promover compromisos globales de las naciones para “curar el planeta”.

El libro *Agroecología y Servicios Ecosistémicos: aportes de la investigación interdisciplinaria*, constituye un destacado aporte científico y académico para identificar instrumentos, estrategias, acciones y medidas que den respuesta a los desafíos antes mencionados. A partir de la profundización del enfoque interdisciplinario y transdisciplinario (resaltando el enfoque social), usted encontrará referencias de seis diferentes agroecosistemas de Nicaragua, a través de los cuales este libro contribuye a la comprensión de la complejidad de las interacciones en los ecosistemas agrícolas.

De la gran variedad y diversidad de temas desarrollados, se resaltan: cómo interactúa y funciona la biodiversidad; enfatizando en la biota de los suelos (la macrofauna, la microfauna o microbiología y los vegetales), los bienes y servicios ecosistémicos, así como las relaciones simbióticas de los diversos elementos del sistema. Así mismo, se destaca la importancia de una gestión agroecológica de los suelos basada en el análisis e interpretación de sus indicadores de calidad físicos, químicos, biológicos y sus interacciones. Todo este conjunto de información y conocimiento para la toma de decisiones que ha sido presentado es el resultado de la investigación interdisciplinaria cuyo objeto de estudio en el paradigma de la agroecología es “*el agroecosistema*”.

Esta obra es sin duda, un importante insumo científico que abona a la creación de herramientas y metodologías de fácil manejo e interpretación para el productor, familias, organizaciones y empresas; basado en experiencias consolidadas y/o que se encuentran validadas en determinadas condiciones. Esto puede ayudar para que estos colectivos puedan identificar estrategias claras para restaurar, mejorar y gestionar sus sistemas productivos.

La profundidad y rigurosidad científica de los temas, experiencias, resultados y enfoques que ofrece este libro permiten, además, comprender de mejor manera cómo el enfoque sistémico del paradigma de la agroecología se conecta con la visión de manejo sostenible de paisajes, mediado por el uso de información técnico-científica. Así mismo, aporta elementos claves para el diseño y manejo de la biodiversidad productiva y auxiliar, la gestión integral del suelo y el agua, la promoción de intervenciones sanitarias en rubros productivos y manejo de la biodiversidad asociada, entre otros.

Este ejercicio intelectual presenta trabajos y estudios de casos referidos a las principales cadenas de valor de importancia ambiental, social y económica para el país, como son el cacao agroforestal, granos básicos y ganadería bovina en sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles. También, se muestra el trabajo desarrollado en los territorios de importancia estratégica como son las reservas de biosfera, específicamente, en la Reserva Biológica Indio Maíz, ofreciendo importantes contribuciones a los procesos de planificación territorial.

También, la presente obra ofrece un compendio académico que cumple una función de divulgación del esfuerzo y dedicación de los investigadores e investigadoras, familias campesinas y estudiantes que durante años han trabajado para compartir e intercambiar sus conocimientos y hallazgos.

Estoy seguro de que esta contribución académica aporta al reconocimiento del paradigma de la agroecología como una alternativa sostenible y climáticamente inteligente, en un planeta que alberga a una gran comunidad humana que enfrenta el enorme desafío de alimentar a su población y a la vez preservar, mejorar y restaurar los recursos naturales esenciales para garantizar su bienestar.

Iván Felipe León
Representante de la FAO en Nicaragua



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad enfrenta la necesidad de “transformar el paradigma de desarrollo actual en uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo” (Naciones Unidas, 2018, p. 7), “emerge en el sistema internacional un nuevo consenso en torno a un estilo de desarrollo que enfatiza el combate a la desigualdad y a la destrucción del medio ambiente” (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2016, p. 16) y se reconoce la entrada en escena de una nueva era o época, el Antropoceno, que “está denotando el deterioro profundo sobre todos los componentes biofísicos y sociales que sustentan la vida tal y como la conocemos” (Chaparro & Meneses, 2015, p. 15). De igual manera:

Los profundos desequilibrios económicos, sociales y ambientales han motivado la búsqueda de respuestas por parte de la comunidad internacional, a través de esfuerzos que han madurado por más de dos decenios. La más amplia y ambiciosa es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que los 193 países representados en la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobaron en septiembre de 2015. (CEPAL, 2016, p. 9)

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible representan “una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental” (Naciones Unidas, 2017, p. 7) y constituyen el consenso emergente en la búsqueda de un nuevo paradigma de desarrollo. El paradigma propuesto es la agroecología, por los beneficios que esta ofrece como:

Aumento de la seguridad alimentaria y la resiliencia, la mejora de los medios de vida y las economías locales, la diversificación de la producción alimentaria y las dietas, la promoción de la salud y la nutrición, la protección de los recursos naturales y la diversidad biológica, la adaptación al cambio climático y su mitigación, la conservación de las culturas locales y los conocimientos tradicionales. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018a, p. 1)

Por consiguiente, es perentorio que cada país diseñe e implemente el marco jurídico, que incluye la política y las estrategias para el escalonamiento del paradigma de la agroecología a nivel de agroecosistemas, comunidades, cuencas hidrográficas, regiones agroecológicas, áreas protegidas, reservas biológicas y a nivel nacional, que coadyuven a los beneficios que este brinda. Este paradigma es visto como una gran oportunidad para apoyar la ineludible transformación que necesitan los sistemas alimentarios, donde “se deben cambiar todos los componentes del sistema alimentario, desde las semillas y los suelos hasta la mesa del consumidor” (Gliessman, 2017, p. 1).

Este novedoso paradigma integra tres componentes o dimensiones: la ciencia, las tecnologías y prácticas y los movimientos para el cambio social (Wezel, *et al.*, 2009, p. 512; Gliessman, 2017, p. 12). Como ciencia, este paradigma incorpora:

(...) el conocimiento tradicional y los avances de la ecología y de la agronomía y brinda herramientas para diseñar sistemas que, basados en las interacciones de la biodiversidad, funcionan por sí mismos y auspician su propia fertilidad, regulación de plagas, sanidad y productividad, sin requerir paquetes tecnológicos. (Chamochumbi, 2017, párr. 3)

En otras palabras, este paradigma “se basa fundamentalmente en el uso de la biodiversidad funcional y sus servicios ecosistémicos en la producción agrícola; por esto, representa una ruptura verdadera con la forma en que la ciencia predominante considera la agricultura” (Hainzelin, 2017, p. 41).

Desde esta perspectiva,

hace falta conocer más y de manera más profunda las interacciones ecológicas entre las especies agrícolas domesticadas, entre estas especies y el entorno físico, y entre estas especies y las de los sistemas naturales. Esta necesidad es satisfecha por el componente científico de la agroecología, que se basa en los conocimientos y métodos ecológicos modernos para deducir los principios que pueden utilizarse para el diseño y gestión de agroecosistemas sostenibles. (Gliessman, 2017, p. 11)

Lastecnologíasyprácticasydeesteparadigma,paraeldiseñoorediseñodelosagroecosistemas, deben estar en sintonía con los cinco principios ecológicos descritos por Reijntjes *et al.* (1992, p. 29) para garantizar que los diseños y manejos de la biodiversidad conciernen a agroecosistemas complejos o altamente complejos y sostenibles que aprovechen al máximo los bienes y servicios ecosistémicos generados por la biodiversidad funcional benéfica. Por consiguiente, se demandan tecnologías, “prácticas agrícolas y sistemas sobre el terreno que sean eficaces e innovadores, que contribuyan desde ahora a atender nuestras necesidades alimentarias, al tiempo que sienten las bases para los sistemas alimentarios más sostenibles del futuro” (Gliessman, 2017, p. 11).

Mientras que Hainzelin (2017) enfatiza que el paradigma de la agroecología:

(...) se propone gestionar la producción agrícola, y en algunos casos aumentarla, de manera sostenible y resiliente, manteniendo y mejorando el capital natural a largo plazo. Producirá una mejora de los procesos ecológicos y las interacciones de la biodiversidad funcional, por encima y por debajo de la superficie del suelo, en el espacio y en el tiempo, intensificando los ciclos biológicos de los nutrientes, el agua y la energía, y controlando los agresores de los cultivos (...). El principio básico

y común (...) es aumentar la producción de biomasa mediante la mejora de los servicios ecosistémicos prestados por los organismos vivos, y aprovechar al máximo los recursos naturales, en especial los que son abundantes y gratuitos (por ejemplo, la radiación solar, el carbono y el nitrógeno atmosférico, y las precipitaciones). (p. 41)

La satisfacción de esta necesidad es el componente práctico del paradigma de la agroecología, que valoriza los conocimientos locales y empíricos de los agricultores y el intercambio de estos conocimientos, y que socava la distinción entre la producción de conocimientos y su aplicación. (Gliessman, 2017, p. 11)

Peña (2019) plantea que el paradigma de la agroecología como movimiento social:

Es una apuesta política que se entrecruza con otros movimientos sociales en defensa por la vida. (...) reconoce a los movimientos sociales en y por la agroecología como un frente de lucha encaminado a la defensa del territorio, la soberanía alimentaria y la construcción de sistemas alimentarios justos, dignos, limpios, diversos y responsables. En este sentido, los movimientos sociales contruidos por campesinos, campesinas, mujeres, jóvenes, pescadores, recolectores, investigadoras e investigadores; han aportado y nutrido el cuestionamiento de las formas convencionales de producción de alimentos, no solo poniendo en entredicho que la producción industrial de alimentos es la respuesta al hambre en el mundo, sino que es posible generar alternativas con justicia social y ambiental. (párr. 2)

Las circunstancias exigen cambios fundamentales en la forma como los seres humanos se relacionan con los alimentos, en los sistemas económicos y sociales que determinan su distribución y en el papel mediador de los alimentos en las relaciones de poder entre poblaciones, clases sociales y países. A esta necesidad responde el componente de transformación social de la agroecología, que no sólo promueve los cambios que garantizarán la seguridad alimentaria para todos, sino que además explora los medios a través de los cuales estos cambios se podrán introducir y mantener. (Gliessman, 2017, p. 11)

Se reconoce y propone por muchos la ampliación de escala de la agroecología como un camino a seguir en el próximo decenio como enfoque estratégico y medio para promover y cumplir la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [DS] y, en particular, el Objetivo de Desarrollo Sostenible [ODS] número 2 relativo a la erradicación del hambre y la promoción de la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible. De hecho, se reconoce que la Agroecología contribuye a numerosos Objetivos de Desarrollo Sostenible y que ofrece uno de los enfoques más

integrados, amplios y holísticos que beneficiará directamente a los destinatarios de la Agenda 2030. Para alcanzar varios ODS, los diversos sistemas agrícolas del mundo deben iniciar su transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles, desde puntos de partida diversos y mediante caminos diferentes basados tanto como sea posible en principios de agroecología. (FAO, 2018a, p. 2).

El planteamiento arriba descrito se manifiesta en el documento titulado “Iniciativa para ampliar la escala de la agroecología: transformar la alimentación y los sistemas agrícolas apoyo de los ODS”, que fue propuesto para el segundo simposio internacional sobre agroecología, cuya misión expresa lo siguiente:

Con el espíritu transformador de la Agenda 2030, trabajaremos con productores, gobiernos y otros actores para fortalecer la agroecología como un enfoque prometedor, aprovechando un amplio abanico de prácticas y políticas, conocimiento y alianzas para alcanzar sistemas alimentarios equitativos y sostenibles en apoyo de los ODS. (FAO, 2018b, p. 1)

Este paradigma se visualiza como una gran oportunidad para apoyar las perentorias transformaciones que demandan los sistemas alimentarios actuales, y el compromiso de diferentes instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales, fundaciones y donantes, gobiernos nacionales y locales, organizaciones de las familias productoras de alimentos y consumidores, actores, promotores y protagonistas del desarrollo rural integral en los respectivos territorios, para lo cual es sine qua non construir alianzas estratégicas.

Desde esta óptica, la Universidad Nacional Agraria (UNA) a través del proyecto “Generación de capacidades de gestión, técnicas y productivas para el desarrollo integral de seis municipios del departamento de Río San Juan (RSJ)”, auspiciado por el Consejo Nacional de Universidades (CNU), ha construido una gran alianza estratégica en este terruño que incluye a instituciones del Estado, al gobierno departamental, los gobiernos municipales, estudiantes de grado y posgrado, académicos, líderes comunales, actores, promotores y protagonistas del desarrollo rural integral, que contribuya al escalonamiento del paradigma de la agroecología en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, cuyos propósitos son el desarrollo de competencias agroecológicas en las familias campesinas, estudiantes de grado y posgrado, mediante el intercambio horizontal de saberes y haceres para que las familias campesinas y los jóvenes promuevan en su comunidad este paradigma, garantizando la integración de los tres componentes o dimensiones de la agroecología: ciencia, conjunto de tecnologías y prácticas, y un movimiento social adaptado a sus condiciones socio económicas y productivas.

Gliessman (2017) afirma que:

El agroecólogo ideal es aquel que hace ciencia, cultiva y se compromete a asegurar que la justicia social oriente su acción para el cambio. Debemos ayudar a conectar a las personas que cultivan los alimentos con las personas que los consumen, en una relación que beneficie a ambos. (p. 12)

Esta alianza estratégica ha permitido implementar procesos de gestión del conocimiento y de aprendizajes basados en el intercambio horizontal de saberes y haceres, en la pedagogía para la educación formal y en la de adulto o en la no formal; y desarrollar una serie de investigaciones interdisciplinarias con las familias campesinas, técnicos del Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFCCA), líderes comunitarios, estudiantes y académicos de la Universidad Nacional Agraria (UNA).

Estas investigaciones interdisciplinarias se realizaron en los agroecosistemas de los agricultores, que participaron en el intercambio horizontal de saberes y haceres, cuyos hallazgos sean el soporte científico para la implementación de tecnologías y prácticas en el rediseño agroecológico de sus agroecosistemas y al mismo tiempo, que las familias campesinas contribuyan al escalonamiento del paradigma de la agroecología en sus comunidades, mediante la metodología de Campesino a Campesino, dado que esta “es idónea para el escalonamiento del paradigma de la agroecología a nivel nacional, regional e internacional” (Salazar Centeno, 2021, p. 34).

Al finalizar de leer y analizar la introducción del presente texto digital, encontrarán un primer capítulo donde se brinda información sobre los agroecosistemas analizados, se precisa el diseño metodológico de estas investigaciones interdisciplinarias, la descripción de los materiales y las metodologías que se implementaron junto con las familias campesinas, estudiantes de la UNA y técnicos del MEFCCA. Seguidamente, se ofrece un segundo capítulo en el que se describe el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en los agroecosistemas, que han sido logrados o alcanzados por sus propietarios o agricultores, y su relación con los bienes y servicios ecosistémicos.

El tercer capítulo versa sobre la gestión agroecológica del recurso natural no renovable suelo, cimentada en indicadores de calidad física, química y biológica para promover bienes y servicios ecosistémicos. A continuación hay un capítulo referente a los macroinvertebrados del suelo y en la hojarasca superficial, su diversidad alfa y beta, y cómo su funcionalidad contribuye a los bienes y servicios ecosistémicos necesarios para un buen y sano funcionamiento de los agroecosistemas y su aporte a las cuatro categorías propuestas por el grupo de evaluación de los ecosistemas del milenio (Soportes, aprovisionamiento, regulación y culturales) fundamentales para el bienestar de la humanidad actual y futura (Millennium Ecosystem Assessment Board [MEA], 2005, p. 42-45).

El quinto capítulo trata sobre la diversidad de géneros taxonómicos identificados de la microbiota edáfica (actinomicetos, bacterias y hongos), se cuantifican sus unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo, su funcionalidad, relaciones simbióticas y con las categorías ecosistémicas, y la perspectiva para la colección *ex situ*, caracterización metabólica y utilidad de la microbiota edáfica nicaragüense.

En el sexto capítulo se ofrece una reflexión sobre este modelo de investigación que gestiona la Universidad Nacional Agraria y los resultados de las investigaciones interdisciplinarias. El texto concluye con una galería fotográfica que *grosso modo* resume el proceso interdisciplinario de intercambio horizontal de saberes y haceres para la recolección de la información, los datos y su sistematización.

Los resultados de estas investigaciones interdisciplinarias se pueden considerar como una línea de base para la elaboración e implementación de estrategias para el diseño o rediseño agroecológico de agroecosistemas, para hacer realidad la misión de la “iniciativa para ampliar la escalera de la agroecología” propuesta por FAO (2018b, p. 1), en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, y para fomentar bienes y servicios ecosistémicos descritos en las categorías propuestas por MEA (2005, p. 41-45).

También, estos resultados están en correspondencia con lo planteado por Gliessman (2017) al manifestar que a nivel de agroecosistema, local, regional o nacional la dimensión científica del paradigma de la agroecología, debe ser interdisciplinaria, porque a través de esta se aportan las evidencias científicas de la urgencia de un cambio y de la variabilidad de las alternativas (p. 12), atinadas para contribuir a la implementación de la Agenda 2030, y a hacer realidad los ODS en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz de Nicaragua, principalmente el dos (Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible) y el 13 (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos).

Referencias

- Chamochumbi, W. (2017). La Agroecología como ciencia, praxis y movimiento social: evolución y desafíos frente al mercado. *América latina en movimiento*, <https://www.alainet.org/es/articulo/188343>.
- Chaparro, J., & Meneses, I. (2015). El antropoceno: aportes para la comprensión del cambio global. *Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*, ISSN 1578-0007, <http://www.ub.edu/geocrit/aracne/aracne-203.pdf>.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL). (2016). *Horizonte 2030: la igualdad en el centro del desarrollo sostenible*. México. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40159/4/S1600653_es.pdf

- Gliessman, S. (2017). La agroecología: un movimiento global para la seguridad y la soberanía alimentaria. En FAO, *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición: actas del simposio internacional de la fao. 18-19 de septiembre de 2014, Roma, Italia* (pág. 444). Roma. <http://www.fao.org/3/i4729s/i4729s.pdf>
- Hainzelin, E. (2017). Mejora de la función y la prestación de servicios ecosistémicos en la agricultura: los principios agroecológicos. En fao, *agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición actas del simposio internacional de la FAO, 18-19 de septiembre de 2014, Roma, Italia*, <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>. (pág. 444).
- Millennium Ecosystem Assessment Board (MEA). (2005). *Ecosystem and Human Well-being. Synthesis*. Washington, DC, USA: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Naciones Unidas. (2017). *Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América latina y El Caribe*. Santiago, Chile.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018a). Segundo Simposio Internacional sobre Agroecología: Ampliar la Escala de la Agroecología para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Resumen del presidente. <http://www.fao.org/3/CA0346ES/ca0346es.pdf>. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018b). Iniciativa para ampliar la escala de la agroecología: *transformar la alimentación y los sistemas agrícolas apoyo de los ODS*. <http://www.fao.org/3/I9049ES/i9049es.pdf>
- Peña, I. (2019). La agroecología como movimiento social. *Colegio de la Frontera Sur*. https://www.researchgate.net/publication/333891468_La_agroecologia_como_movimiento_social
- Reijntjes, C. B., Haverkort, & Water-Bayer, A. (1992). Farming for the future: An introduction to low-external input and sustainable agriculture. 272.
- Salazar Centeno, D. J. (2021). Síntesis y fundamentación teórica de los principales aportes del panel sobre desafíos de la agroecología en Nicaragua. En J. Rojas Meza, F. Chavarría Aráuz, & D. J. Salazar Centeno, *La Agroecología y Agroindustria: bases para el desarrollo rural en Nicaragua* (pág. 202). Managua, Nicaragua: Editorial Universitaria UNAN-Managua. <https://cenida.una.edu.ni/textos/NE21R741.pdf>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 503-5015. doi:DOI: 10.1051/agro/2009004

CAPÍTULO I. METODOLOGÍA

1.1. Ubicación de las investigaciones interdisciplinarias y periodo del estudio

Las investigaciones interdisciplinarias se realizaron en el municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, Nicaragua, del periodo de 2017 al 2018. San Carlos se localiza en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, y se seleccionaron seis agroecosistemas, cuatro en la comunidad Los Chiles y dos en La Azucena (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Comunidad, agroecosistemas, coordenadas, altura sobre el nivel del mar, clima, temperatura media anual, precipitación media anual y área de cada agroecosistema, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua

Comunidad	Agroecosistema	Latitud (N)	Longitud (O)	Altura (m)	Clima Köppen y Geiger	Área (ha)
Los Chiles	Los Reyes	11° 14'18.40"	11° 14'18.40"	75	Sabana tropical (Aw) Temperatura media anual: 26.1 °C Precipitación anual: 1902 mm	25.00
	Los Mangos	11° 14'39.13"	11° 14'39.13"	50		10.00
	La Palma	11°14'51.94"	11°14'51.94"	85		25.20
	El Recuerdo	11°14'53.16"	11°14'53.16"	65		17.50
La Azucena	El Mono	11°9'17.56"	84°37'28.85"	59		38.61
	Jardín del Edén	11°9'9.75"	84°37'8.47"	151		42.00

<https://es.climate-data.org/america-del-norte/nicaragua/rio-san-juan/san-carlos-30482/>

La idea de iniciar estas investigaciones interdisciplinarias surgió de un intercambio horizontal de saberes y haceres con agricultores de Los Chiles y La Azucena, quienes tenían interés de reducir o eliminar el uso de insumos externos (plaguicidas, fertilizantes, vitaminas y desparasitantes) en sus agroecosistemas, por razones de salud, económicas y ambientales. Los agricultores de la comunidad de Los Chiles y La Azucena estaban conformando su cooperativa. En este proceso se integraron el gobierno departamental, los municipales, técnicos del Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFCCA), líderes comunitarios, estudiantes y académicos de la Universidad Nacional Agraria (UNA). Se llegó al consenso de aplicar una serie de metodologías de diferentes disciplinas científicas en los agroecosistemas de los agricultores, que participaron en el intercambio horizontal de saberes y haceres, cuyos resultados constituyen la línea de base para iniciar el proceso de reconversión agroecológica de sus agroecosistemas.

Para la selección de los agroecosistemas descritos en el Cuadro 1.1, se determinaron los siguientes criterios: que la familia campesina participara en todo el proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres, tanto en las investigaciones como en la recolección de la información o datos; y que los agroecosistemas estén lo más cercano posible en cada comunidad, para poder hacer comparaciones a par, de modo que en el municipio de San Carlos se realizaron tres comparaciones (Comunidad Los Chiles: Los Reyes vs Los Mangos y La Palma vs El Recuerdo; Comunidad La Azucena: El Mono vs Jardín del Edén).

1.2. Diseño metodológico de las investigaciones interdisciplinarias

El enfoque de las investigaciones interdisciplinarias es mixto, su alcance es descriptivo y correlacional; y su diseño es no experimental transeccional o transversal. El enfoque es mixto porque se combinan el enfoque cualitativo y el cuantitativo. En el enfoque cualitativo la recolección y análisis de los datos consiste en afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación, cuyos datos o información se obtienen verbalmente, en forma audiovisual o de textos e imágenes; mientras que en el enfoque cuantitativo la recolección de los datos se basa en la medición numérica, cuyo propósito es construir patrones de comportamientos, por lo que se puede probar hipótesis y teorías. El alcance descriptivo es útil para especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice y describe tendencias de un grupo o población; y el correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población (Hernández Sampieri *et al.*, 2014, p. 3-93).

El diseño de la investigación no experimental y transversal corresponde a estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos y se recopilan los datos en un momento único (Hernández Sampieri *et al.*, 2010, p. 149-151). En estas investigaciones interdisciplinarias se aplicaron las metodologías y se recolectaron los datos o información en un solo momento o en un tiempo único.

Los agroecosistemas se subdividieron en lotes o parcelas considerando pendiente, vegetación, cultivos anuales, cultivos perennes, ganado y pastos, los que se expresan por comunidad en los Cuadros 1.2 y 1.3. En la comunidad Los Chiles, los cuatro agroecosistemas tienen en común parcelas o lotes con pasto mejorado, pasto natural, granos básicos y cacao. Los agroecosistemas localizados en La Azucena tienen en común parcelas con bosque, pasto natural (retana), cítricos y cacao. El cacao es un cultivo que se está introduciendo en la zona, cuya área no es superior a una hectárea. En ambas comunidades predomina la crianza de ganado bovino de forma extensiva.

Cuadro 1.2. Lotes o parcelas de los agroecosistemas Los Reyes (LR), Los Mangos (LM), La Palma (LP) y El Recuerdo (EL), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017 (Castro Guzmán, 2021, p 21, Gómez López, 2021, p. 13)

Lotes o parcelas (ha)	Agroecosistema			
	Los Reyes	Los Mangos	La Palma	El Recuerdo
I	Cacao (0.5)	Cacao (1)	Cacao (0.5)	Cacao (0.35)
II	Bosque 1 (1)	Pasto mejorado (2.5)	Pasto mejorado (7.2)	Pasto mejorado (4.9)
III	Pasto natural (22.5)	Pasto natural (3)	Pasto natural (4.4)	Pasto natural (9.45)
IV	Bosque 2 (0.5) Casa (0.5)	Granos básicos y yuca (3) Casa (0.5 ha)	Granos básicos (13.1)	Granos básicos (2.8)
Agricultor	Victorino Reyes Ramírez	Ángel Alberto Martínez Sánchez	Reynaldo Galeano Reyes	Julio Cesar Martínez Varela

Cuadro 1.3. Lotes o parcelas de los agroecosistemas El Mono (EM) y Jardín del Eden (JD), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Mendoza, 2020, p. 17)

Lotes o parcelas	Agroecosistema	
	El Mono	Jardín del Edén
I	Área agrícola	Cacao 1 (7 año)
II	Bosque	Bosque
III	Cacao (4 año)	Cacao 2 (3 año)
IV	Caña de azúcar	Taiwán
V	Cítrico	Cítrico
VI	Retana 1	Retana 1
VII	Retana 2	Retana 2
VIII	Retana 3	Retana 3
IX	Retana 4	Bambú
X	Retana 5	Reserva 1
XI		Reserva 2
Agricultor	Juan Pablo Herradora	Patricio Maradiaga

1.3. Proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres

Los encuentros para el intercambio horizontal de saberes y haceres se realizaban mensualmente, cuya duración fue de tres días consecutivos, en el que participaban los agricultores de La Azucena y los de Los Chiles, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios, estudiantes y académicos de la UNA.

Los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA desarrollaron la competencia para determinar el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas y hacer una interpretación individual y colectiva. Para ese propósito se aplicó la metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 34-38) que tiene seis indicativos, 64 indicadores y un coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB), que categoriza al agroecosistema en diferentes grados de complejidad de sus diseños y manejos de la biodiversidad (Cuadro 1.4 y 1.5).

Cuadro 1.4. Indicativos, indicadores, fórmulas y coeficiente de manejo de la biodiversidad (Vázquez Moreno, 2013, p. 34-38)

Indicativos	Indicadores	Fórmulas	CMB
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr)	18	$DMBPr = \frac{\sum (2Pr1 + Pr2 + 2Pr3 + Pr4 + Pr5 + Pr6 + Pr7 + Pr8 + Pr9 + Pr10 + Pr11 + 3Pr12 + Pr13 + Pr14 + Pr15 + Pr16 + Pr17 + 2Pr18)}{23}$	Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)
Manejo y conservación del suelo (MCS)	7	$MCS = \frac{\sum (2S1 + S2 + S3 + 2S4 + S5 + S6 + S7)}{9}$	
Manejo y conservación del agua (MCA)	5	$MCA = \frac{\sum (A1 + A2 + 2A3 + 2A4 + A5)}{7}$	
Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr)	5	$MISRPr = \frac{\sum (I1 + 2I2 + I3 + 2I4 + I5)}{7}$	
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu)	15	$DMBAu = \frac{\sum (2Au1 + Au2 + 2Au3 + Au4 + 3Au5 + Au6 + Au7 + 2Au8 + Au9 + 2Au10 + Au11 + Au12 + Au13 + 2Au14 + Au15)}{22}$	
Elementos de la biodiversidad asociada (EBAs)	14	$EBAs = \frac{\sum (As1 + As2 + As3 + As4 + As5 + As6 + As7 + As8 + As9 + As10 + 2As11 + As12 + 2As13 + As14)}{16}$	
CMB = $\frac{\sum (DMBPr + MCS + MCA + MISRPr + DMBAu + EBAs)}{6}$			
6	64		1

Cuadro 1.5. Escalas del coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) que determinan el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema (Vázquez Moreno, 2013, p. 38)

CMB*	Grados de complejidad del agroecosistema
0 – 1.0	Simplificado (s)
1.1 – 2.0	Poco complejo (pc)
2.1 – 3.0	Medianamente complejo (mc)
3.1 – 3.5	Complejo (c)
3.6 – 4.0	Altamente complejo (ac)

CMB*: Coeficiente de manejo de la biodiversidad

El valor de cada indicador oscila en el intervalo cerrado de 0 a 4 (Vázquez Moreno, 2013, p. 33). La aplicación de esta metodología se realizó en los agroecosistemas de los agricultores o campesinos con el acompañamiento de estudiantes de la UNA y técnicos del MEFCCA, cuyos resultados se presentan en el capítulo II.

También, los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA desarrollaron la competencia para hacer una valoración de los suelos de los agroecosistemas (Figura 1.1) mediante un manual publicado por García Centeno (2017, p. 9-28). Este manual describe cómo evaluar cuatro parámetros o indicadores físicos de calidad de suelo: profundidad del suelo (cm) a través de un barreno, mediante un cilindro de PVC, porosidad (%), infiltración (cmh^{-1}) y textura a través del tacto; y dos químicos: materia orgánica (MO) a través del efecto de agua oxigenada al 10% y pH mediante cinta. Las categorías de los resultados de las evaluaciones de la materia orgánica se presentan en el Cuadro 1.6, mientras que las categorías de los resultados de los restantes parámetros se muestran en el Cuadro 1.7. La densidad aparente (gcm^{-3}) se estimó para calcular la porosidad del suelo.

Además, los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA desarrollaron la competencia para realizar muestreo de suelo y que este sea analizado en un laboratorio. En los agroecosistemas descritos en el Cuadro 1.1, 1.2 y 1.3 se tomó una muestra de suelo por lote o parcela, al azar, a una profundidad de 20 cm, a las que se les determinaron macro y micros elementos, pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura. Estas muestras se trasladaron al laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria. Con estos resultados se calculó el porcentaje de saturación de bases (SB) y las relaciones intercatiónicas.

Cuadro 1.6. Categorías para la estimación del nivel de presencia de materia orgánica (MO) en el suelo del agroecosistema (García Centeno, 2017, p 25)

Categorías	Observación	Presencia de MO
1	No se observa efervescencia, ni se escucha al oído.	Nula
2	No se observa efervescencia, pero se escucha al oído.	Baja
3	Se nota efervescencia claramente.	Media
4	La efervescencia es rápida y sube lentamente.	Alta
5	La efervescencia es rápida y sube rápidamente.	Muy alta



Figura 1.1. Desarrollo de competencias de los agricultores para evaluar profundidad, pH, materia orgánica, infiltración, densidad aparente y textura de suelo con las metodologías de campo descritas en el manual de García Centeno (2017, p. 9-28).

El indicador biológico del suelo que se consideró fue el número de lombrices de tierra por metro Cuadrado. En el Cuadro 1.8 se muestran los parámetros evaluados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria, la profundidad del muestreo, los métodos empleados en el laboratorio con su respectiva fuente.

Cuadro 1.7. Categorías de valoración de los parámetros de los indicadores físicos del suelo, profundidad (cm), porosidad total (%), materia orgánica, infiltración (cmh^{-1}), pH y textura según García Centeno (2017, p. 28)

Categorías	Parámetros del suelo					
	Profundidad (cm)	Porosidad total (%)	Materia orgánica	Infiltración (cmh^{-1})	pH	Textura
1	<25	>70	Nula	<1.95	< 5.2	Arc
2	25-50	<39	Baja	>25	> 7.5	Are
3	50 – 100	51 – 55	Media	12.1 - 25	5.3 – 5.9	Faa
4	100-150	56 - -69	Alta	2 - 6	6.6 – 7.4	Fal
5	>150	40 – 50	Muy alta	6.1 - 12	6.0 – 6.5	Fra

Arc: Arcillosa, Are: Arenosa, Faa: Franco arcillo arenoso, Fal: Franco arcillo limoso y Fra: Franco

Cuadro 1.8. Parámetros o indicadores químicos de calidad de suelo y métodos implementados en el laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria descritos por Díaz Torrez (2019, p. 10)

Indicador químico *	Métodos	Fuente
pH (H_2O)	Potenciométrico 1:2.5 suelo: agua.	(Mc Lean, 1983) Mc Lean, (1982)
MO (%)	Walkley Black.	Walkley y Black, (1934).
N (%)	A partir de la MO. Calculado Olsen, colorimétrico. Extracción con bicarbonato de sodio pH 8.5. Acetato de amonio pH7 1N. Absorción atómica.	Olsen <i>et al</i> (1954)
P (ppm)		
K (meq/100 g de suelo)		
Ca (meq/100 g de suelo)		
Mg (meq/100 g de suelo)		
Na (meq/100 g de suelo)	Método de Olsen modificado. Medición en absorción atómica.	Thomas (1982)
Fe (ppm)		
Cu (ppm)		
Zn (ppm)		
Mn (ppm)		
CIC	Método del acetato de amonio, NH_4OAc , pH 7.0 1N	USDA. (1996)
Textura	Bouyuco	Blake y Hartge (1986)

Todas las muestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB%) y número de lombrices por metro cuadrado, se categorizaron basado en cinco escalas o categorías que se ilustran en el Cuadro 1.9. Los resultados de los parámetros o indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de los suelos en cada agroecosistema se analizan en el capítulo III.

Los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA que participaron en el intercambio horizontal de saberes y haceres desarrollaron la competencia de realizar muestreos de la macrofauna (Figura 1.2), se socializó las funciones ecosistémicas y los servicios ecosistémicos que estos organismos desarrollan en los agroecosistemas. Ellos conocían e identificaron a estos organismos por sus nombres comunes.

Cuadro 1.9. Categorías para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado descritas en Díaz Torres (2019, p. 10)

Categorías	Parámetros o indicadores del suelo		
	CIC	Saturación total de bases (SB%)	Lombrices por metro cuadrado
1	< 10	<20	Menos de 16
2	10 - 20	21-35	16 a 32
3	21 - 35	36- 45	33 a 64
4	36 - 45	46 - 85	65 a 99
5	> 45	> 86	Más de 99



Figura 1.2. Muestreo e identificación de la macrofauna en la hojarasca y en el monolito de 25cm*25cm*30cm por los agricultores.

Los estudiantes de la Universidad Nacional Agraria que realizaban su trabajo de graduación, aplicaron el método del Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) propuesto por Anderson & Ingram (1993, p. 44-46) y modificado por Rodríguez González *et al.* (2021), que consiste en que:

La captura de macrofauna fue realizada en cinco puntos de muestreos circulares superficiales de 3.1416 m² y sustracción posterior de cinco monolitos de suelo, al centro de la circunferencia, por subsistema en cada agroecosistema. Cada monolito presentaba dimensiones de 0.25 m (largo) x 0.25 m (ancho) x 0.30 m (profundidad). (p. 141)

Los especímenes fueron extraídos en el sitio del muestreo golpeando y quebrando los trozos de suelo y revisando la hojarasca. Seguidamente se extrajo la tierra de cada estrato, y se depositó en una bandeja por estratos para su respectiva revisión. Los especímenes frágiles de cada estrato fueron extraídos con un pincel y el resto con una pinza; se colocaron en un frasco plástico con su respectiva información (localidad, agroecosistema, lote, número de muestra y profundidad); las lombrices fueron conservadas en formaldehído al 4% para evitar la supuración de la mucosa y el resto de la macrofauna en alcohol al 70% para la identificación. Las muestras recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria para su respectiva identificación. Se extrajeron los especímenes de los frascos con cuidado y se colocaron en papel toalla. Una vez secos se ubicaron sobre un vidrio reloj bajo el lente de un Stereo Microscop serie SZM, donde se detallaron sus características morfológicas para ser clasificados taxonómicamente desde Phylum hasta familia. (Salazar Centeno *et al.*, 2017a, p. 15; Salazar Centeno *et al.*, 2017b, p. 14-15; Salazar Centeno *et al.*, 2017c, p. 16)

En total se identificaron organismos de 185 monolitos, para lo cual se utilizaron claves taxonómicas de diferentes literaturas como McGavin, (2000, p. 1-129); Cabrera-Dávila (2014, p. 9-21); Nájera Rincón & Souza, (2010, p. 14-58) y Maes (2007, p. 14-496). Posteriormente, una vez identificados los especímenes de la macrofauna edáfica, a nivel de familia, se procedió a determinar su rol funcional y este ubicarlo en una o varias de las categorías de servicios ecosistémicos propuestas por Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005, p. 41-45). Los resultados de la aplicación de este procedimiento por agroecosistemas se discuten en el capítulo IV.

Los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA que participaron en el intercambio horizontal de saberes y haceres desarrollaron la competencia de observar la microbiota edáfica de los agroecosistemas mediante trampas con arroz blanco precocido. Una vez precocido el arroz, cuyo grano, aún, estaba crocante, se depositó 50 a 100 gramos en un frasco de plástico transparente hasta la mitad, la parte superior de este se

tapó con una manta blanca de mosquitero o tela, cuyo tamaño o diámetro fue superior a la boca del recipiente, la que se sujetó por debajo de la boca del recipiente con un elástico, hule o cordel fino de nylon. Estos frascos con la trampa de arroz precocido y cubierto el recipiente con manta blanca de mosquitero, en la parte superior, se depositaron en el suelo en un orificio u hoyo a una profundidad, de modo que la parte superior de estos quedó de cinco a tres centímetros de la superficie del suelo. Se tapó el orificio u hoyo con el suelo superficial a ras de este, se cubrió con hojarasca y a la par se enterró una estaca para identificar el punto de muestreo al momento que se recolectó la trampa.

Las trampas permanecieron sumergidas o enterradas en el suelo por un periodo de tres a cinco días y posteriormente se recolectaron. Los agricultores observaron las coloraciones de las colonias de la microbiota edáfica, compararon las coloraciones y formas que estaban presentes en las trampas; mientras más diversas son las coloraciones y formas de las colonias de los microorganismos, los suelos son más ricos y más equilibrados. A los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA se les explicó las funciones ecosistémicas que estos microorganismos desempeñan en los suelos de los agroecosistemas y que con estas trampas de arroz precocido se pueden recolectar los microorganismos de montaña para la elaboración de abonos orgánicos sólidos y líquidos.

Los estudiantes de la Universidad Nacional Agraria que realizaban su trabajo de graduación tomaron tres muestras de suelo por lote o parcela en cada agroecosistema, a una profundidad de 20 cm. Se realizaron 20 barrenas al azar a la profundidad descrita, los que se mezclaron para homogenizar el suelo; y se pesaron 500 g del suelo homogenizado, se etiquetó para su identificación, y esta fue remitida al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria para la identificación taxonómica de los géneros de la microbiota edáfica con sus respectivas unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo. Este procedimiento se realizó tres veces en cada lote o parcela. La metodología para identificar los géneros taxonómicos y cuantificar las UFCg⁻¹ de suelo de actinomicetos, bacterias y hongos se describen en el Cuadro 1.10. Los resultados de esta metodología se discuten en el capítulo V.

Cuadro 1.10. Medios de cultivo y métodos para identificar los microorganismos del suelo (Gutiérrez Gaitán, 2012, p. 12-54)

Microrganismo	Medios de cultivo	Métodos
Hongos	PDA (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)
Bacterias	Agar nutritivo (APHA, 1923)	Aislamiento por dilución en serie (Gutiérrez, 2012)
Actinomicetos	Agar avena (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)

Los agricultores, técnicos del MEFCCA, líderes comunitarios y estudiantes de la UNA que implementaron todas las metodologías en los agroecosistemas y participaron, al menos en el 80%, en los encuentros de intercambio horizontal de saberes y haceres, recibieron un certificado por parte de la Universidad Nacional Agraria, en una ceremonia oficial, que fue presidida por el Sr. rector (Ing. M.Sc. José Alberto Sediles Jaen), el coordinador de este proceso de intercambio horizontal de saberes (Dr. Dennis José Salazar Centeno), el coordinador del proyecto “Generación de capacidades de gestión, técnicas y productivas para el desarrollo integral de seis municipios del departamento de Río San Juan (RSJ)” (Ing. Juan Carlos Fernández Alvares), un funcionario del Consejo Nacional de Universidades (Ing. Rafael Armando Chamorro Vázquez) y un representante de las autoridades edilicias del municipio de El Castillo (Sra. Gladys Mondragón), el seis de febrero del 2020 (Figura 1.3). También, asistieron a esta ceremonia académicos de la UNA (Ing. M.Sc. Hugo René Rodríguez González y M.Sc. Leonardo José García Centeno), quienes participaron como facilitadores, en todo el proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres, así como los estudiantes de la UNA que participaron en la realización de estas investigaciones interdisciplinarias.



Figura 1.3. Acto de entrega de certificados a los agricultores, técnicos del Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFCCA), líderes comunitarios, estudiantes y académicos de la Universidad Nacional Agraria (UNA) que culminaron exitosamente el proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres, Boca de Sábaló, 06.02.2020.

1.4. Análisis de los datos

Los resultados de la aplicación de la metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 34-38) se sintetizan en gráficos radiales, por comunidad; donde se expresan los diferentes indicativos que componen el coeficiente del manejo de la biodiversidad en cada agroecosistema y el respectivo coeficiente de manejo de la biodiversidad de cada agroecosistema. Estos se elaboraron a través del programa EXCEL, y se muestran y analizan en el capítulo II.

Las categorías de los indicadores físicos y químicos del suelo, descritas en el manual de García Centeno (2017, p. 9-28), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación total de bases y la cantidad de lombrices de tierra por metro cuadrado, se presentan en gráficos de ameba o araña elaborados con el programa EXCEL. Los resultados de los análisis de suelo reportados por el laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria se presentan en cuadros, por agroecosistema en cada comunidad. Ambos, gráficos y cuadros se discuten en el capítulo III.

Los resultados de la identificación taxonómica a nivel de familias de la macrofauna, así como su respectiva funcionalidad ecosistémica se presentan en cuadros de frecuencia. Con las frecuencias por familia de la identificación taxonómica de la macrofauna se calcularon los índices de Renyi y Bray-Curtis, el primero se representa en gráficas en líneas y el segundo en un gráfico de disimilitud progresiva acumulada.

El índice de diversidad de Renyi o diversidad alfa depende de los valores de alfa, cuya interpretación es la siguiente: si alfa es igual a 0, el índice da el valor observado de riqueza del taxón; si alfa se aproxima a 1 el perfil se comporta como el índice de Shannon-Weaver (Uniformidad); si alfa es igual a 2 se comporta como el índice de Simpson (Dominancia); para valores infinitos muy grande se comporta como el índice de Berger-Parker (Equidad). (Gómez Anaya, 2008, p. 47).

El Índice de distancia de Bray-Curtis o diversidad beta determina la distancia ecológica entre dos agroecosistemas o dos subsistemas dentro de un mismo agroecosistema. Los valores de este índice de diversidad beta oscilan entre 0 y 1. Si el valor es cercano a 0 los subsistemas o agroecosistemas son completamente diferentes en cuanto a su composición taxonómica. En la medida que el valor se acerca más a 1 los subsistemas o agroecosistemas son más similares. Para categorizar el taxón con el índice de disimilitud Bray-Curtis se tomaron diferentes rangos para agruparlos y consistió en los siguientes valores: $0 \leq \text{disimilitud alta} \leq 0.33$, $0.33 < \text{disimilitud intermedia} \leq 0.66$ y $0.66 < \text{disimilitud baja} \leq 0.9$. Al índice de diversidad beta de Bray-Curtis, que determina la diferencia o semejanza relativa entre el número de individuos pertenecientes a cada taxa de organismo asociado a los agroecosistemas, cuyo valor originalmente oscila entre 0-1, que se obtiene a partir de los resultados con aquellas

familias taxonómicas comunes en ambos agroecosistemas, se presentan en una gráfica de disimilitud progresiva acumulada. Los valores obtenidos a partir de Bray-Curtis ingresan a un proceso de sumatoria acumulada, donde las familias más a la izquierda en la gráfica de disimilitud progresiva acumulada, presentan una baja disimilitud y aquellas familias más a la derecha, son consideradas de alta disimilitud entre los agroecosistemas. Los roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en los agroecosistemas se presentan en cuadros y en un diagrama concéntrico. Todos los resultados de la macrofauna se analizan en el capítulo IV.

La frecuencia de la identificación taxonómica de los géneros de los grupos de la microbiota edáfica (Actinomicetos, bacterias y hongos) con su respectiva cuantificación de las unidades formadoras de colonias por gramo de suelo se presenta en un cuadro. Los resultados de la microbiota edáfica se analizan en el capítulo V.

La categorización de los bienes y servicios ecosistémicos de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada (macro invertebrados y microbiota edáfica) que se promueven y acontecen en los seis agroecosistemas evaluados, se realizó de acuerdo a la propuesta por Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005 p. 41-45).

Referencias

- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods* (Segunda ed.). Wallingford, Inglaterra: CAB Internacional.
- Cabrera-Dávila, G. d. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. <https://docplayer.es/8347137-Manual-practico-sobre-la-macrofauna-edafrica-como-indicador-biologico-de-la-calidad-del-suelo-segun-resultados-en-cuba.html>
- Castro Guzmán, J. N. (2021). Calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 80.
- Díaz Torrez, K. R. (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua. Managua: Universidad Nacional Agraria, tesis de maestría. <https://repositorio.una.edu.ni/3870/1/tnf08d542e.pdf>.
- Gutiérrez Gaitán, Y. (2012). *Módulo Práctico: técnicas de laboratorio, compendio de guías*. Universidad Nacional Agraria, p. 62. <https://repositorio.una.edu.ni/3779/1/NH20G984.pdf>
- García Centeno, L. (2017). *Manual: metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo* (Grupo SEVEN Nicaragua ed.). <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>

- Gómez Anaya, J. A. (2008). Ecología de los ensamblajes de larvas de Odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la Sierra de Coalcomán, México. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, tesis doctoral. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/15734/Ecologia%20de%20los%20ensamblajes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez López, Á. R. (2021). Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 67.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México D.F., México: McGraw-Hill Educación. <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGraw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Maes, J. M. (2007). *Identificación y clasificación de insectos en la Reserva Natural Datanlí-El Diablo*. León, Nicaragua. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/InsectosDatanli2007.pdf>
- McGavin, G. C. (2000). Manual de identificación. Insectos, Arañas y otros artrópodos terrestres.
- Millennium Ecosystem Assessment. (MEA). (2005). *Ecosystem and Human Well-being. Biodiversity Synthesis*. Washington, DC, World Resources Institute. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mendoza, P. A. (2020). Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua 2017-2018. Managua: Universidad Nacional Agraria, tesis de ingeniero agrónomo.
- Nájera Rincón, M. B., & Souza, B. (2010). *Insectos benéficos: guía para su identificación*. Uruapan: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.academia.edu/8795502/Insectos_Ben%C3%A9ficos_Gu%C3%ADa_para_su_Identificaci%C3%B3n?pls=RHCNeDDgd
- Rodríguez González, h. R., Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., & Fernández Álvarez, J. C. (2021). Macrofauna superficial y edáfica en Nicaragua: distribución espacial, abundancia, diversidad y funciones. Managua, Nicaragua: Editorial Universitaria UNAN-Managua. En J. Rojas Meza, F. Chavarría Aráuz, & D. J. Salazar Centeno, *La Agroecología y Agroindustria: bases para el desarrollo rural en Nicaragua* (pág. 202). Managua, Nicaragua: Editorial Universitaria UNAN-Managua. <https://cenida.una.edu.ni/textos/NE21R741.pdf>

- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017c). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017b). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Salazar Centeno, J. D., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Vázquez Moreno, L. L. (2013). Diagnóstico de la complejidad de los agroecosistemas y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología* (8)1, 33-42.

CAPÍTULO II. COMPLEJIDAD DE LOS DISEÑOS Y MANEJOS DE LOS ELEMENTOS DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS Y BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Dennis José Salazar Centeno¹, Anielka Paola Mendoza², Juan Noel Castro Guzmán³ y Alvaro Reynaldo Gómez López⁴

¹Doctor *Agriculturarum*, Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3281-2348>, dennis.salazar@ci.una.edu.ni

²Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. anilkita94@hotmail.com

³Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. noel.castroguzman@yahoo.com

⁴Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. alregolo1979@yahoo.com

En Nicaragua, se han realizado estudios para determinar el grado de complejidad de los diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao, café, ganadería bovina extensiva y granos básicos (Díaz Torres, 2019, p. 17-31; Altamirano Hernández *et al.*, 2017, p. 108; Rodríguez González *et al.*, 2017a, p. 20-33; Cáliz Guillén, 2017, p. 10-25; Rodríguez González *et al.*, 2017b, p. 19-24 y Rodríguez González *et al.*, 2017c, p. 21-33), que se expresa mediante un coeficiente del manejo de la biodiversidad (CMB), propuesto por Vázquez Moreno (2013) y resulta del promedio aritmético de sus seis indicativos (p. 38).

Este coeficiente del manejo de la biodiversidad (CMB) permite categorizar al agroecosistema respecto a la complejidad gestionada de los diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad, por sus propietarios o agricultores, y a partir de esa información se elabore e implemente un plan de reconversión agroecológica del agroecosistema, que permita, a mediano y largo plazo, complejizarlo y lograr agroecosistemas más multifuncionales, sinérgicos y estables, con mayor eficiencia, productividad y resiliencia, que contribuyan a la soberanía alimentaria, tecnológica y energética, así como a optimizar los bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo o soporte, que se promuevan en el agroecosistema que son imprescindibles para fomentar una agricultura sostenible y para el bienestar de la familia agricultora, la comunidad y la sociedad.

En este capítulo se abordan los indicativos del coeficiente del manejo de la biodiversidad (CMB) y se caracterizan a seis agroecosistemas, según el grado de complejidad de sus diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad, que son fundamentales para fomentar los bienes y servicios ecosistémicos que brindan estos agroecosistemas.

Estos se localizan en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, en las comunidades Los Chiles y La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua. En estas comunidades las precipitaciones anuales son de 1902 mm, y las altitudes de los agroecosistemas varían entre 50 y 151 msnm (Cuadro 1.1).

2.1. Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva

El indicativo de los diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr) está conformado por 18 indicadores (Cuadro 1.4), y estos se refieren a “la biota introducida que se planifica, se cultiva o se cría” (Vázquez Moreno, 2013, p. 34). Esta representa “cultivos, ganadería, forestales, ornamentales, flores y otros rubros productivos que el agricultor planifica y utiliza para la comercialización y el autoabastecimiento” (Vázquez *et al.*, 2014, p. 152).

Este indicativo varió de 2.09 a 2.91 en los agroecosistemas de Los Chiles (Figura 2.1) y en los agroecosistemas de La Azucena fue de 1.48 y 2.26 (Figura 2.2). Con la excepción del agroecosistema Los Reyes (Cacao [*Theobroma cacao* L.] y pasto natural o retana [*Ischaemum ciliar* Retz]), en Los Chiles; en los restantes agroecosistemas se integran al menos tres rubros productivos vegetales. Estos rubros son: a) En Los Chiles: cacao (*Theobroma cacao* L.), pasto natural o retana (*Ischaemum ciliar* Retz), pasto mejorado (*Brachiaria brizantha* CV.), maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y yuca (*Manihot esculenta* Cratz) (Cuadro 1.2) y b) En La Azucena: retana (*Ischaemum ciliar* Retz), cacao, caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), cítricos (*Citrus sinensis* L.) y taiwan (*Pennisetum purpureum* L.) (Cuadro 1.3).

En esta última localidad, en el agroecosistema El Mono, en la parcela del área agrícola se cultivan yuca, plátano y guineo (*Musa spp*). En los agroecosistemas de La Azucena, una mínima parte de la producción de la parcela con cítricos es aprovechada por las familias productoras, al consumir las frutas frescas o para elaborar refrescos, pero el resto se comercializa en los mercados locales y nacionales.

Sobre la base de estos resultados, se puede afirmar que la biota productiva vegetal contribuye con la seguridad alimentaria de estas familias productoras y de la comunidad, y aportan granos para la crianza de aves de corral y forraje para la alimentación del ganado bovino, por consiguiente, estos agroecosistemas ofrecen bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento.

También, hay que resaltar que entre la biota productiva vegetal está el frijol, que es una leguminosa, que en una simbiosis mutualista con bacterias del género *Rhizobium*, tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en el interior del suelo, contribuyendo a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos de soporte o apoyo. Conjuntamente, si se rota esta

leguminosa (frijol) con plantas de la familia Poaceae, como el maíz, se contribuye a la regulación de insectos fitófagos, microorganismos patógenos y arvenses o malezas.

Solamente, la procedencia de semilla o material de siembra del pasto mejorado y de las parcelas de cítricos es importado y el resto es generado en los agroecosistemas, en la localidad o a nivel nacional. Esto significa que la semilla o material de siembra de los granos básicos (maíz y frijol), plátano, guineo, caña de azúcar y yuca, al producirse en los agroecosistemas, en la localidad o a nivel nacional contribuye a la soberanía tecnológica de estos insumos, para que estos agricultores garanticen en las parcelas de sus agroecosistemas parte de la biota productiva vegetal.

En todos los agroecosistemas, el principal rubro productivo animal es la crianza de ganado bovino (*Bos taurus* L.) de forma extensiva (Cuadro 1.2 y 1.3), pero crían cerdos (*Sus scrofa domestica* L.) y aves de corral [Gallinas (*Gallus gallus domesticus* L.) y chumpipes (*Meleagris gallopavo* L.)], estas últimas son destinadas para el autoconsumo, que contribuye a mejorar la dieta, que fortalece la seguridad alimentaria y nutricional, y al Objetivo de Desarrollo Sostenible dos, que incluye lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición de los pueblos. Adicionalmente, los pies de cría de los animales de crianza son propios o de origen local, y los agricultores son autosuficiente en alimentos para la crianza de sus animales.

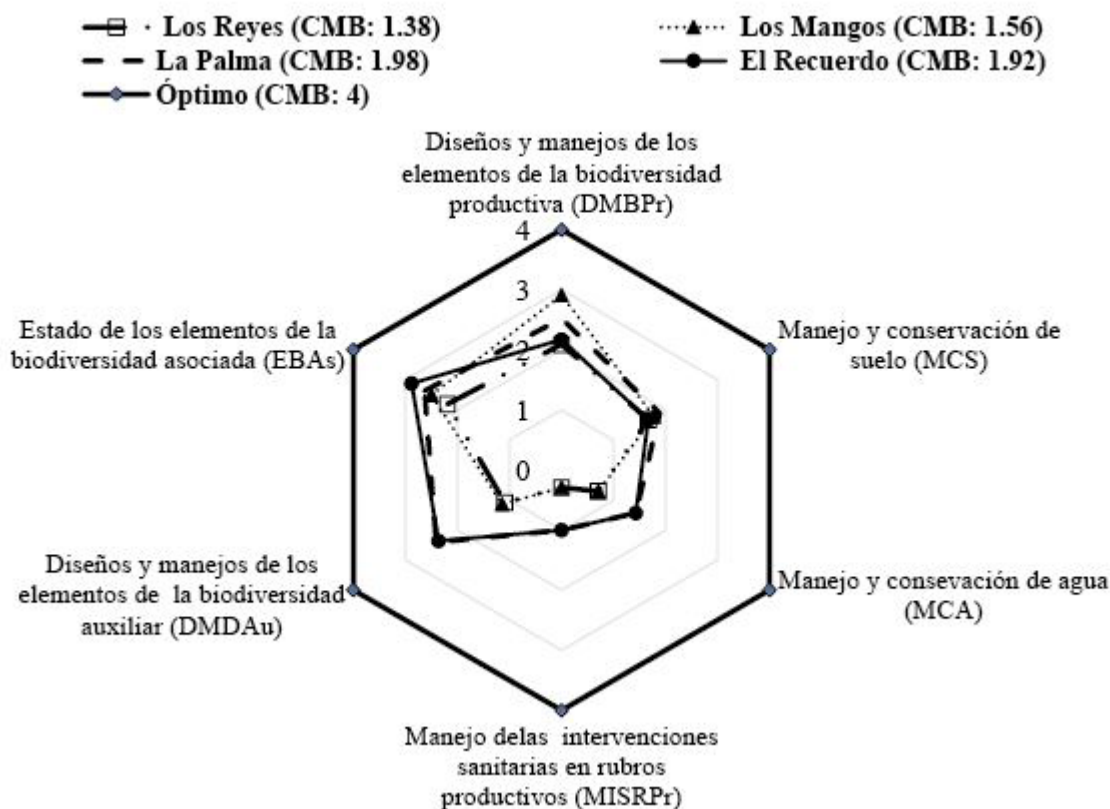


Figura 2.1. Indicativos de los coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en cuatro agroecosistemas, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017 (Castro Guzmán, 2021, p. 45; Gómez López, 2021, p. 32).

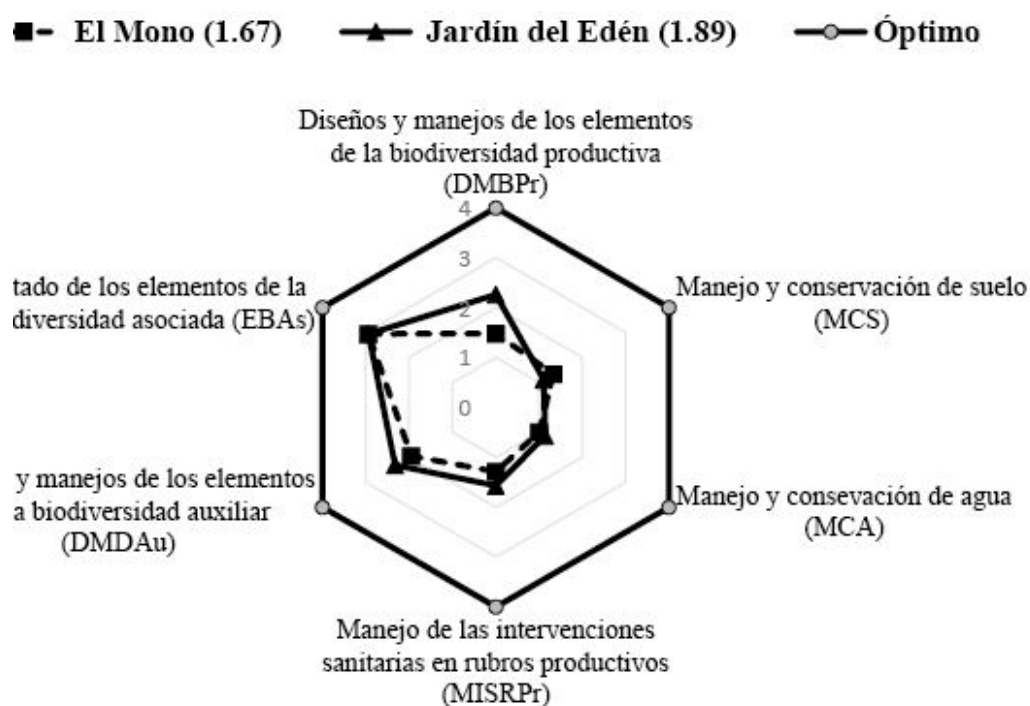


Figura 2.2. Indicativos de los coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Mendoza, 2020, p. 40).

En resumen, la biota productiva vegetal y animal está más estrechamente relacionada con los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, pero buenos diseños y manejos de esta biota contribuyen a las otras categorías de los servicios ecosistémicos (regulación, cultural y soporte).

2.2. Manejo y conservación del suelo

El indicativo del manejo y conservación de suelos (MCS) está constituido por siete indicadores (Cuadro 1.4). En este indicativo “Se consideran los manejos específicos que se realizan en el suelo, que contribuyen a la conservación y mejora de las funciones de la biota que habita en el mismo” (Vázquez Moreno, 2013, p. 35), que desempeñan importantes funciones ecosistémicas, al interior y exterior de este recurso natural no renovable, que pueden ser categorizadas como servicios ecosistémicos de soporte o apoyo y de regulación que son vitales para la salud y el buen funcionamiento de los agroecosistemas, para que estos oferten bienes y servicios de aprovisionamiento y culturales.

En los agroecosistemas localizados en Los Chiles, el indicativo del manejo y conservación del suelo (MCS) varió de 1.67 a 1.89, mientras que, en los localizados en La Azucena, este fue de 1.1 y 1.3 (Figura 2.1 y 2.2), valores que están muy distantes del óptimo (4). Estos resultados demuestran, que los agricultores realizan un deficiente manejo del suelo, pues no realizan prácticas antierosivas como curvas a nivel, barreras vivas o muertas y no incorporan abonos orgánicos al suelo, a pesar de que disponen de las excretas del ganado bovino, para la

elaboración de fertilizantes orgánicos sólidos y líquidos. Solamente utilizan espeque o macana para establecer los cultivos de maíz, frijol, yuca, musáceas y los pastizales, que son implementos que causan minúsculos disturbios en el suelo y contribuyen a su conservación. En los seis agroecosistemas, hay parcelas o lotes para la rotación de los cultivos de maíz y frijol común durante el año, no obstante, esta no se planifica y los agricultores no están consiente de su importancia para promover la salud y fertilidad del suelo.

Estos acontecimientos demuestran que en todos los agroecosistemas urge que se realice una gestión sostenible de este recurso natural no renovable, que consiste en que los servicios ecosistémicos (Apoyo, aprovisionamiento, regulación y culturales) proporcionados por estos, se mantengan o se amplíen sin perjuicios significativos de las funciones que garantizan estos servicios o la biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016, p. 2), para lo cual es fundamental que los agricultores implementen buenas prácticas para conservarlo, mejorarlo y restaurarlo; y a su vez estas contribuyan a preservar la biodiversidad y promover positivamente los servicios ecosistémicos. Hay que evitar a toda costa una sobreutilización de este recurso natural no renovable, en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz por parte de los agricultores debido a que:

El suelo es un recurso natural importante para la actividad económica, dado su papel de insumo esencial en actividades como la agricultura y la ganadería, sin embargo es un recurso altamente vulnerable, pues su sobreutilización por parte de dichas actividades puede llegar a afectarlo irreversiblemente. Esto puede generar, como consecuencia, la pérdida de sus funciones ambientales y, por ende, la disminución de sus servicios y bienes. (Silva & Correa Restrepo, 2009, p. 20)

2.3. Manejo y conservación del agua

El indicativo del manejo y conservación del agua (MCA) está integrado por cinco indicadores (Cuadro 1.4). En este indicativo se considera al vital líquido como “un recurso natural que requiere ser utilizado óptimamente y que tiene una gran influencia en el manejo y conservación de la biodiversidad” (Vázquez Moreno, 2013, p. 35), la cual desempeña funciones ecosistémicas importantes para optimizar bienes y servicios ecosistémicos para la salud y el buen funcionamiento de los agroecosistemas, el bienestar de las familias agricultoras, la localidad y la sociedad en general.

Este indicativo osciló entre 0.71 y 1.43 en los agroecosistemas localizados en Los Chiles (Figura 2.1), mientras que éste fue de 1.0 y 1.14 en los agroecosistemas localizados en La Azucena (Figura 2.2). Al igual que el indicativo del manejo y conservación del suelo, este indicativo demuestra un deficiente manejo, en los seis agroecosistemas. Esto es preocupante porque:

El suelo constituye un sistema abierto, con entradas de tipo atmosféricas y salidas que pueden ser superficiales, en forma de escurrimiento y erosión. Por otro lado, en el cuerpo mismo del suelo se producen una serie de transformaciones que involucran la presencia de microorganismos, agua, raíces, intercambio de gases, descomposición y neoformaciones, entre muchos otros procesos. (Cotler *et al.*, 2007, p. 5)

Estos agroecosistemas, se localizan en una región, donde la época lluviosa perdura de 9 a 10 meses, cuya intensidad y persistencia solo disminuye en algunas semanas de los meses de marzo y abril. Durante ese periodo las plantas soportan un estrés por déficit de agua, debido a que estos suelos tienen poca capacidad de retención de humedad, por lo que es recomendable realizar riego durante este tiempo. No obstante, solo en Jardín del Edén se implementa riego por gravedad, en la época seca, en un área inferior al 20%. Este sistema de riego tiene poca eficiencia referente al uso sostenible de este recurso natural renovable, por consiguiente, es pertinente sustituirlo por uno de goteo. En todos los agroecosistemas, la fuente de abasto de agua para las actividades agropecuarias y labores domésticas proviene de un pozo artesanal. Los agroecosistemas localizados en Los Chiles, además del pozo artesanal disponen de un caño o riachuelo que los atraviesa.

Durante la época lluviosa, las aguas pluviales fluyen libremente por los agroecosistemas, dado que no existen un manejo del drenaje ni sistemas de drenajes, que causa anegamiento en lotes o parcelas que no disponen de un drenaje natural. El flujo libremente de las aguas pluviales en los seis agroecosistemas puede ocasionar erosión hídrica que “transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas” (FAO, 2016, p. 3). Un deterioro de este recurso natural no renovable influye negativamente sobre los servicios ecosistémicos que acontecen al interior y exterior de este, por consiguiente se debe realizar una gestión agroecológica de este recurso basada en indicadores físicos, químicos, biológicos y sus interacciones (Vea capítulo III), que contribuya a que el agua se infiltre en el suelo, se retenga por periodos de tiempo más prolongados para que sea aprovechada por los vegetales.

2.4. Manejo de intervenciones sanitarias en rubros productivos

El indicativo de los manejos de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) está compuesto por cinco indicadores (Cuadro 1.4), que consideran la reducción de intervenciones, la integración de productos biológicos y de estos, los que se obtienen en el propio agroecosistema. “Son las intervenciones con productos u otras técnicas para reducir la incidencia de organismos nocivos a las plantas cultivadas y los animales de crianza” (Vázquez Moreno, 2013, pp. 35 y 37).

Los insumos agrícolas externos no solo son costosos, sino que, a veces, desde un punto de vista logístico, pueden ser difícil de conseguir para los pequeños agricultores de los países en desarrollo, que constituyen la mayoría de los agricultores del mundo. La capacidad de producir de manera gratuita o a bajo costo alternativas eficaces a los insumos agrícolas externos en la granja [agroecosistema] reduce la utilización de estos y los costos financieros que acarrearán. (Leu, 2017, p. 171)

El manejo de intervenciones sanitarias en rubros productivos varió de 0.29 a 1.0, en los agroecosistemas localizados en Los Chiles (Figura 2.1), mientras que este alcanzó valores de 1.29 y 1.57 en los agroecosistemas localizados en La Azucena (Figura 2.2), valores que distan mucho del óptimo (4), que indican un deficiente manejo de este indicativo.

En Los Chiles, los agricultores no han reducido el número de intervenciones sanitarias en los rubros productivos vegetales y animales, y sí han disminuido las dosis de aplicación por problemas económicos. En ambas localidades, los agricultores son muy dependientes de insumos externos para cultivar maíz, frijol, yuca, musáceas y cítricos (fertilizantes, insecticidas y herbicidas), en los pastizales solo aplican herbicidas para el manejo de malezas o de arvenses de hojas anchas y arbustivas; y a los animales de cría les aplican desparasitantes y vitaminas sintéticas. Todo esto es típico del paradigma de producción de alimento convencional, que actualmente predomina. No obstante, los dos agricultores de La Azucena generan insumos biológicos (garrapaticidas, biofertilizantes y compost), pero estos, a duras penas, satisfacen el 20% de la demanda de su biodiversidad productiva vegetal y animal, pero los hace un poco menos dependientes de agrotóxicos externos.

El uso inadecuado e indiscriminado de agrotóxicos por los agricultores en sus agroecosistemas, tiene efectos negativos sobre el suelo, el agua, la biodiversidad y la salud humana. Silva & Correa Restrepo (2009) manifiestan que estas sustancias:

(...) pueden acumularse en el suelo o bien filtrarse en las aguas subterráneas o evaporarse y posteriormente volver a depositarse en el suelo. Asimismo, pueden afectar la biodiversidad de este recurso debido a su escasa selectividad y por incorporarse en la cadena trófica (...). Dentro de los impactos negativos que generan en el medio ambiente, puede nombrarse la reducción de la actividad microbiana del suelo, el crecimiento irregular, la pérdida de biomasa, o muerte de plantas sensibles a estas sustancias y afectaciones en la salud de la población. (p. 19 y 20)

Del mismo modo, la reducción de la actividad microbiana del suelo, el crecimiento irregular de los vegetales y la pérdida de biomasa afectan negativamente las funciones ecosistémicas de la biodiversidad edáfica que habita sobre la superficie del suelo y a su interior, y por consiguiente se reducen las funciones ecosistémicas de la biota edáfica, que son muy

importantes para garantizar bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para la familia productora, la comunidad y la sociedad; así como servicios ecosistémicos de regulación y soporte o apoyo necesarios para la salud y el buen funcionamiento de los agroecosistemas para transitar hacia una agricultura sostenible y de esta manera se coadyuva al Objetivo de Desarrollo Sostenible dos que circunscribe la promoción de una agricultura sostenible.

2.5. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar

El indicativo de los diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) está conformado por 15 indicadores (Cuadro 1.4), que representa:

La vegetación no cultivada que habita naturalmente o se introduce, que se maneja para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad. (...). La vegetación auxiliar en un SPA [Agroecosistema] puede estar integrada por cortinas rompe vientos, cerca viva perimetral e internas, arboledas, ambientes seminaturales, corredores ecológicos internos y barreras vivas laterales e intercaladas en los campos. Se considera la estructura de los elementos que la integran, así como la complejidad de los diseños y manejos que se realiza. (Vázquez Moreno, 2013, p. 36)

Este indicativo osciló entre 1.09 y 2.41 en los agroecosistemas localizados en Los Chiles (Figura 2.1), y en los localizados en La Azucena este alcanzó el valor de 1.95 y 2.32 (Figura 2.2). Estos resultados demuestran que es perentorio rediseñar los agroecosistemas, para que la vegetación no cultivada propia de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz o la que se introduce en los agroecosistemas, se maneje adecuadamente para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad. En los seis agroecosistemas no existen barreras vivas, los pocos árboles dispersos en los potreros y los pequeños sistemas agroforestales con cacao funcionan como corredores biológicos. Adicional a estos corredores biológicos, en el agroecosistema Los Reyes (Los Chiles) y en los localizados en La Azucena (El Mono y Jardín del Edén) existen parcelas, lotes o áreas con bosque (Cuadro 1.2 y 1.3), que se conservan sin intervenciones para garantizar sus funciones. Los agroecosistemas cuentan con cercas vivas perimetrales, que están conformadas, al menos, por tres especies [Madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq.), elequeme (*Erythrina fusca* Lour.), jiñocuavo (*Bursera simaruba* L.), falso roble (*Licania arborea* Seem), nancite (*Byrsonima crassifolia* L.), capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) y jícaro (*Amphitecna sessilifolia* Donn. Sm.)], pero estas cubren a lo más el 75% del perímetro de los agroecosistemas.

El madero negro y el elequeme por pertenecer a la familia Fabaceae establecen una simbiosis mutualista con rizobacterias, y por consiguiente tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo. El jiñocuavo se puede utilizar como alimento para el ganado bovino y

como planta medicinal. Los frutos de nancite son muy apetecidos por los niños, se pueden hacer encurtidos caseros y refrescos. Con las semillas del jícaro se elabora un delicioso, refrescante y nutritivo refresco, la pulpa de este fruto es apetecida por el ganado bovino y con sus frutos se pueden elaborar recipientes ancestrales de uso doméstico, en zonas rurales. El falso roble es fuente de energía renovable para la cocción de los alimentos de la familia y provee madera para la construcción y la elaboración de muebles de uso doméstico o caseros. También, las cercas vivas mejoran la belleza escénica del agroecosistema y de la cuenca hidrográfica, proporcionan refugio para animales silvestre y sombra para el ganado. Todo esto demuestra que las cercas vivas perimetrales multi-especies pueden ofertar bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo o soporte. Estos bienes y servicios ecosistémicos que ofertan las cercas vivas en los agroecosistemas son muy similares a los reportados por Villanueva *et al.* (2005, p. 5). También, Harvey *et al.* (2003) constataron que:

La abundancia, composición de especies y estructura de las cercas vivas variaron entre las fincas [agroecosistemas] y los paisajes, reflejando diferencias en condiciones ambientales y estrategias de manejo. En todos los paisajes, los principales roles productivos de las cercas vivas fueron los de dividir las pasturas y actuar como barreras para el movimiento de animales, aunque también sirvieron como fuentes de forraje, leña, madera y frutos. (...). En algunas regiones agrícolas donde la deforestación y la conversión a agricultura han sido elevadas, las cercas vivas constituyen la forma más prevalente de cobertura arbórea que permanece en el paisaje. (...). Como tales, pueden cumplir funciones importantes, tanto para la producción sostenible como para la conservación de biodiversidad. (p. 30-39)

De la Ossa-Lacayo, (2013) realizó un análisis de la literatura científica de mayor importancia que a nivel de zonas tropicales de América Latina se tiene para los sistemas agrosilvopastoriles y concluyó que:

Es evidente que los sistemas silvopastoriles, entre ellos las cercas vivas, cumplen una función de integralidad porque además de las especies vegetales existe un componente animal que permita la combinación de la actividad pecuaria con la plantación de árboles forrajeros, maderables, para leña y otros usos. Las cercas vivas, dadas estas características y su funcionalidad son en esencia, además de valiosos instrumentos de conservación faunística regional, un sistema silvopastoril de gran actualidad e importancia para el trópico. (p. 183)

En los agroecosistemas localizados en Los Chiles se identificaron entre 2 a 10 especies de árboles frutales, mientras que en los de La Azucena se identificaron entre 5 y 8 especies (Cuadros 2.1, 2.2 y 2.3). Los frutos de estos árboles son fuente de vitaminas y minerales y generalmente se destinan para el autoconsumo, y si hay excedente se venden.

En los agroecosistemas en La Azucena, la cosecha de los cítricos es para mercados locales, nacionales y para el consumo familiar. El cacao es un agroecosistema agroforestal y los potreros tienen pocos árboles dispersos. En los agroecosistemas localizados en Los Chiles se identificaron de 7 a 17 especies de árboles forestales, mientras que estas en los agroecosistemas localizados en La Azucena varía de 29 a 31 (Cuadros 2.1, 2.2 y 2.3), que significa que estos últimos agroecosistemas tienen una mayor diversidad de especies de árboles forestales, en comparación con los agroecosistemas de Los Chiles.

Los agricultores propietarios de estos agroecosistemas aprovechan las especies de árboles forestales como sombra permanente en el agroecosistema agroforestal con cacao, leña, madera y cercas vivas, que representa un activo para ellos. Adicionalmente, las especies forestales que pertenecen a la familia Fabaceae tienen la capacidad de establecer una simbiosis mutualista con rizobacterias y fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo. Las especies Fabaceae *Gliricidia sepium* Jacq. y *Guazuma ulmifolia* Lam., también, aportan fitomasa a través de sus hojas, que se puede aprovechar como forraje durante el periodo seco. Todas las especies de árboles frutales y forestales identificadas en los seis agroecosistemas, al ofertar alimentos y refugios para animales silvestres, son integrantes de la estructura agroecológica principal (EAP), que es un:

Concepto que se refiere a los arreglos de los conectores internos y externos de las fincas [agroecosistemas] y que podría estar relacionado con las probabilidades de resiliencia o adaptación de los sistemas agrarios a los disturbios de diferente naturaleza. (...), brinda explicaciones, a escala de finca [agroecosistema], de la conectividad del paisaje. Ya no se trata de considerar los corredores biológicos o los parches de vegetación o los bosques remanentes, como piezas sueltas en el paisaje, sino que, la EAP permite agruparlos en torno a las unidades mismas de producción agropecuarias y por lo tanto visibiliza una serie de relaciones culturales (económicas, sociales, simbólicas y tecnológicas) ocultas desde el análisis parcial de la ecología del paisaje. En otras palabras, la EAP es la entrada de los productores agropecuarios en los mapas de la planificación ambiental del territorio. (...). A nivel administrativo la EAP se puede convertir en un insumo importante para el diseño de políticas públicas de desarrollo con enfoque territorial, partiendo de las necesidades locales con fundamento en una activa participación de los agricultores y, finalmente, también se puede convertir en un instrumento teórico-práctico de utilidad para avanzar en la taxonomía de los agroecosistemas. (Cleves-Leguizamo et al., 2017, p. 442-447)

León-Sicard *et al.* (2014) coinciden y amplían las funciones ecosistémicas de la estructura agroecológica principal, al afirmar que la:

Estructura Agroecológica Principal de la Finca o Agroecosistema Mayor (EAP) es la configuración o arreglo espacial interno de la finca [agroecosistema] y la conectividad entre sus distintos sectores, parches y corredores de vegetación o sistemas productivos, que permite el movimiento y el intercambio de distintas especies animales y vegetales, les ofrece refugio, hábitat y alimento, provee regulaciones microclimáticas e incide en la producción, conservación de recursos naturales y en otros aspectos ecosistémicos y culturales de los agroecosistemas mayores. El mayor grado de interconectividad de la EAP y de ella con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (EEP), ofrece mayores posibilidades de regulación biológica en comparación con fincas [agroecosistemas] sin estructura o con EAP débilmente desarrollada. El concepto puede ser útil en taxonomía y descripción de agroecosistemas. (p. 55)

Por consiguiente, la estructura agroecológica principal “se comporta como una estructura disipativa, los ecosistemas con mayor integridad son más resilientes, cumplen con las funciones propias de producción, servicios y conservación” (Cleves Leguízamo & Toro-Calderón, 2018, p. 4). Desde esta perspectiva, los agroecosistemas localizados en La Azucena poseen una mejor estructura agroecológica principal, al presentar una mayor diversidad de especies forestales y por consiguiente mayor resiliencia o de adaptación a las variaciones climáticas y a los fuertes fenómenos atmosféricos (huracanes) provocados por el calentamiento global, que se acentúan con mayor frecuencia y más intensidad en Centro América y El Caribe. En resumen, se puede afirmar que la estructura agroecológica principal (EAP) debe ser parte de los agroecosistemas, porque contribuye a los bienes y servicios ecosistémicos que se promueven en cada agroecosistema y en la cuenca hidrográfica.

Cuadro 2.1. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 80)

Nombre común	Nombre científico	Familia	LM	LR
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i> Bertero & Balb. ex Kunth.	Anacardiaceae	X	
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	X	X
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	X	
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i> L.	Burceraceae	X	
Chaperno	<i>Lonchocarpus yoroensis</i> Standl.	Fabaceae	X	
Elequeme	<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Fabaceae	X	X
Laurel	<i>Laurus nobilis</i> L.	Fagaceae	X	X
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fagaceae	X	X
Roble	<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	X	X
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart.	Leguminosae	X	
Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	Malvaceae	X	X
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Malvaceae	X	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	X	X
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	X	
Cedro macho	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	X	
Cedro real	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	X	
Chilamate	<i>Ficus insípida</i> Will.	Moraceae	X	X
Ojoche	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Moraceae	X	
Aguacate	<i>Persea Americana</i> Mill.	Percea	X	
Guayabo negro	<i>Hesperomeles ferruginea</i> Pers.	Rosaceae	X	
Almendro	<i>Prunus dulcis</i> Mill.	Rosaceas	X	
Mandarina	<i>Citrus x tangerine</i> L.	Rusaceae	X	
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	Rusaceae	X	
Limón	<i>Citrus limon</i> L.	Rutaceae	X	
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> L.	Rutaceae	X	X
Total de especies de árboles forestales			17	7
Total de especies de árboles frutales			8	2

Cuadro 2.2. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Gómez López, 2021, p. 66)

Nombre común	Nombre científico	Familia	LP	ER
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i> Bertero & Balb. ex Kunth	Anacardiaceae	X	
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	X	X
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae	X	X
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	X	X
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i> L. Sarg.	Burceraceae	X	X
Chaperno	<i>Lonchocarpus yoroensis</i> Standl.	Fabaceae	X	X
Elequeme	<i>Erythrina fusca</i> Lour	Fabaceae	X	X
Laurel	<i>Laurus nobilis</i> L.	Fagaceae	X	X
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fagaceae	X	X
Roble	<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	X	X
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart.	Leguminosae	X	X
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Malvaceae	X	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	X	X
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	X	X
Cedro Macho	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	X	X
Cedro Real	<i>Cedrus odorata</i> L.	Meliaceae	X	X
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Mirtáceas		X
Chilamate	<i>Ficus insípida</i> Willd	Moraceae	X	X
Aguacate	<i>Persea americana</i> L.	Persea	X	X
Guayabo Negro	<i>Hesperomeles ferruginea</i> Pers.	Rosaceae	X	X
Almendro	<i>Prunus dulcis</i> Mill. D.A.Webb	Rosaceae	X	X
Mandarina	<i>Citrus x tangerina</i> L.	Rusaceae	X	X
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	Rusaceae	X	
Toronja	<i>Citrus x paradisi</i> L.	Rusaceae	X	X
Limón	<i>Citrus x limón</i> L.	Rutaceae	X	X
Naranja	<i>Citrus X sinensis</i> L.	Rutaceae	X	X
Total de especies de árboles forestales			15	13
Total de especies de árboles frutales			10	10

Cuadro 2.3. Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo de dos agroecosistema, Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 32-34)

Nombre común	Nombre científico	Familia botánica	Jardín del Edén	El Mono
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	X	
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae	X	
Sincolla	<i>Annona purpurea</i> M.	Annonaceae	X	
Lagarto	<i>Sciadodendron excelsum</i> Griseb.	Araliaceae		X
Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i> Jacq.	Arecaceae		X
Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i> Jacq.	Arecaceae	X	
Cortez	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.)	Bignoniaceae		X
Cortez	<i>Tabebuia chrysanthaj</i> Jacq.	Bignoniaceae	X	
Berbería	<i>Cochlospermum vitifolium</i> Willd.	Bixaceae		X
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb	Bombacaceae	X	X
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> Ruiz & Pav.	Boraginaceae	X	X
Querosén	<i>Tetragastris panamensis</i> Engl.	Burseraceae		X
Gavilán	<i>Shizolobium parahyba</i> Vell.	Caesalpiniaceae	X	
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Cecropiaceae	X	X
Falso roble	<i>Licania arborea</i> Seem.	Chrysobalanaceae	X	X
Roble coral	<i>Buchenavia costaricensis</i> Stace	Combretaceae	X	
Nancitón	<i>Hyeronima poasana</i> Standl	Euphorbiaceae	X	X
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier)	Fabaceae		X
Camíbar	<i>Copaifera camibar</i> Poveda	Fabaceae		X
Cenicero	<i>Samanea saman</i> Jacq.	Fabaceae		X
Guapinol	<i>Hymenaea courbail</i> L.	Fabaceae		X
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fabaceae	X	X
Bimbaya	<i>Acasia mangium</i> W.	Fabaceae	X	
Carol	<i>Cassia grandis</i> L. f.	Fabaceae	X	X
Carolillo	<i>Erythrina</i> sp	Fabaceae	X	
Cenicero	<i>Samanea saman</i> Jacq.	Fabaceae	X	
Chaperno	<i>Lonchocarpus felipei</i> N.	Fabaceae	X	
Frijolillo	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	Fabaceae	X	
Granadillo	<i>Dalbergia tucurensis</i> J.D.Smith	Fabaceae	X	
Guapinol	<i>Hymenaea courbail</i> L.	Fabaceae	X	
Sota caballo	<i>Zygia longifolia</i> Britton	Fabaceae	X	
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> L.	Fabaceae-	X	X
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart	Fabaceae	X	X
Chaperno	<i>Lonchocarpus felipei</i> N.	Fabaceae.		X
Aguacatón	<i>Ocotea mollifolia</i> Mez & Pittier	Lauraceae	X	X

Nombre común	Nombre científico	Familia botánica	Jardín del Edén	El Mono
Cocobolo	<i>Caryodaphnopsis burgeri</i> N.	Lauraceae		X
Jícaro	<i>Cariniana pyriformis</i> Mirs.	Lecythidaceae	X	X
Plomo	<i>Lafoensia punicifolia</i> DC.	Lythraceae		X
Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i> L.	Malpighiaceae	X	X
Cedro real	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	X	X
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	X	X
Guanacaste	<i>Albizia niopoide</i> Spruce ex Benth.	Mimosaceae	X	X
Guayaba	<i>Psidium guayava</i> L.	Mirtáceas	X	X
Chilamate	<i>Ficus werckleana</i> Rossberg	Moraceae	X	X
Guacamayo	<i>Triplaris americana</i> L.	Polygonaceae		X
Capirona	<i>Calycophyllum Sprucearum</i> Benth	Rubiaceae	X	X
Mamón chino	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Sapindales	X	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	X	X
Melina	<i>Gmelina arborea</i> L.	Vitaceae	X	X
Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Vitaceae	X	
Total de especies de árboles forestales			29	31
Total de especies de árboles frutales			8	5

En los seis agroecosistemas, los agricultores manejan las arvenses, de acuerdo al grado de incidencia. No obstante:

Se hace necesario desarrollar investigaciones, para demostrar que las arvenses, que siempre han sido consideradas como perjudiciales por su interferencia en los cultivos económicos, estableciendo una marcada competencia con ellos por la luz, el agua, los nutrientes, el CO₂ y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo, juegan también un papel beneficioso dentro del agroecosistema. Ello significa que es necesario establecer normas de convivencia, mediante el manejo adecuado de las arvenses en convivencia interespecífica con los cultivos, teniendo en cuenta el período crítico de competencia (interferencia), pues está demostrado que la presencia de diferentes especies de arvenses en los cultivos, mantiene la composición de la entomofauna y, a su vez, los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, abrigo, sitios para reproducción y refugios para dormancia. También manejando las arvenses, se puede determinar los principios ecológicos generales que regulan la dinámica de las arvenses y las interacciones de estas en los agroecosistemas. A través de nuevas investigaciones, se podrá profundizar sobre las combinaciones específicas: cultivo/arvenses en los agroecosistemas locales y para desarrollar lineamientos flexibles en el diseño de sistemas agrícolas. A partir de que se conozca que la diversidad vegetal favorece de manera frecuencial los mecanismos homeostáticos de control de plagas, en los cultivos, es de presumir que la diversidad

insectil sea mayor y las densidades de fitófagos sean menores y más estables en los cultivos que presenten distintas especies de arvenses, que en el cultivo sin ninguna diversidad vegetal y que, a su vez, las variedades ejerzan cierta influencia sobre estos indicadores, por lo que dichas prácticas podrían ser utilizadas para la regulación de comunidades de insectos nocivos en diferentes cultivos y así manejar el agroecosistema agroecológicamente, sin tener que acudir a los productos químicos. (Blanco & Leyva, 2007, p. 27)

Por otra parte, Solano Pérez & Gúzman Monroy, (2020) constataron que las arvenses de la familia de las Fabaceae establecen una simbiosis mutualista con rizobacterias del género *Rizhobacterium* que fijan el nitrógeno atmosférico en el suelo, otras especies se pueden aprovechar como forraje, plantas ornamentales y medicinales (p. 118). Por su parte, Menalled, (2010) manifiesta que:

Al manejo de las malezas ha sido altamente criticada por su costo ambiental, social, y económico. En respuesta a dichas objeciones, se ha generado un consenso sobre la necesidad de desarrollar programas alternativos de manejo basados no sólo en el conocimiento de los factores que condicionan la abundancia e impacto de las malezas, sino también en las consecuencias ecológicas y sociales de dichas prácticas. (p. 73)

Por consiguiente, se puede aseverar que las arvenses, no solamente se deben considerar como plantas dañinas en los agroecosistemas, si no, también, que estas contribuyen a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos.

Los propietarios de los seis agroecosistemas disponen de ejemplares de una especie de equino (*Equus ferus caballus* L.) para las actividades agrícolas y de su familia. Esta especie es utilizada como medio de transporte, para participar en las festividades patronales de la comunidad y para pastorear el ganado bovino. También, es una fuente de energía animal para el laboreo del suelo, pero los agricultores desaprovechan esta posibilidad.

Vázquez *et al.* (2014) realizaron un diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica, en Cuba, y constataron que:

La biota auxiliar constituyó toda una novedad para los agricultores, a la vez que lograron entender sus funciones en el sistema de producción y pudieron criticar que en la agricultura convencional se le resta importancia al simplificar los sistemas. La evaluación de la biodiversidad auxiliar contribuyó a que expresaran su interés en fomentar rápidamente la cerca viva perimetral diversificada y cuidar las arboledas, entre otras prácticas que antes no les interesaban. (p. 160)

Buenos diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar favorecen a que los agroecosistemas sean multifuncionales, sinérgicos, más estables y eficientes; y con mayor productividad y resiliencia, lo que contribuye a la soberanía alimentaria, tecnológica y energética, así como a optimizar los bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo o soporte, que se promuevan en el agroecosistema que son imprescindibles para fomentar una agricultura sostenible, el bienestar de la familia agricultora, la comunidad y la sociedad, y para hacer realidad, particularmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible dos (Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible) y trece (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos).

2.6. Elementos de la biodiversidad asociada

El indicativo del estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) está conformado por 14 indicadores (Cuadro 1.4).

La biodiversidad asociada son los organismos, sean animales, vegetales y microorganismos, que se asocian a las plantas cultivadas y los animales de crianza, en unos casos con interacciones positivas y en otras negativas, representados por los polinizadores, reguladores naturales, organismos nocivos, entre otros de diferentes funciones en el agroecosistema. Se considera la incidencia y diversidad de los grupos que pueden ser observados con facilidad. (Vázquez Moreno, 2013, p. 34-37)

Son indicadores de este indicativo la diversidad y población de grupos de reguladores naturales, diversidad y población de los macroinvertebrados edáficos. Estos últimos, son considerados indicadores de la calidad y salud de los suelos de los agroecosistemas y muy sensibles a la gestión de los agroecosistemas. Comunidades de macroinvertebrados del suelo más diversas y con mayor población representan suelos más activos biológicamente, complejos y dinámicos. En agroecosistemas que se gestionan con principios de la agroecología su diversidad y sus poblaciones son mayores, en comparación con agroecosistemas gestionados bajo los principios de revolución verde o agroecosistemas convencionales (Rodríguez González *et al.*, 2021, p. 141). Por otra parte, “las variaciones ocurridas en la comunidad de macroinvertebrados edáficos pueden en parte ser explicadas por variaciones en la comunidad vegetal” (Morales & Sarmiento, 2002, p. 109). “Estos organismos ejecutan múltiples funciones en el ecosistema y pueden ser divididos en varias clases, usando diversas clasificaciones funcionales, (...) juegan un papel importante en la productividad de los agroecosistemas” (Brown, *et al.*, 2001, p. 2-4).

Otro indicador que es parte de este indicativo lo constituye la diversidad e incidencia de arvenses y muchas de estas especies ejercen funciones positivas en los agroecosistemas: fijan nitrógeno, protegen y aportan materia orgánica al suelo, son apetecidas por el ganado

fijan nitrógeno, protegen y aportan materia orgánica al suelo, son apetecidas por el ganado bovino, otras pueden ser degustadas por los seres humanos como *Portulaca oleracea* L. y algunas especies son llamativas por sus coloridos embelleciendo el agroecosistema y el paisaje. Por consiguiente, la diversidad y poblaciones de los elementos de la biodiversidad asociada pueden influir positivamente en los bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo o soporte.

Este indicativo varió entre 2.19 y 2.88 en los agroecosistemas localizados en Los Chiles (Figura 2.1). En los agroecosistemas de La Azucena, este indicativo logró el valor de 2.94 (Figura 2.2). Los elementos de la biodiversidad asociada se pueden mejorar al rediseñar agroecosistemas basados en principios ecológicos para obtener un mejor beneficio de los organismos (animales, vegetales, macrofauna, mesofauna y microbiota edáfica), que se asocian a las plantas cultivadas y los animales de crianza. En los seis agroecosistemas se constató poca incidencia de organismos nocivos en cultivos y animales, que incluyen arvenses, nematodos, fitófagos, fitopatógenos, zoopatógenos y los parásitos externos de los animales de crianza es baja, que se atribuye a las aplicaciones de agrotóxicos para el manejo de estas plagas y a la presencia, en el suelo, de microorganismos reguladores de patógenos (Vea capítulo V).

En todos los agroecosistemas se observó la presencia de al menos tres organismos polinizadores (avispa, abejas, abejones, murciélagos, mariposas y *Forcipomyia spp.*), producto de la variedad de especies vegetales que existen en los agroecosistemas y sus alrededores. La macrofauna edáfica de estos agroecosistemas está constituida por más de cinco familias taxonómicas, entre las que se registraron familias detritívoras, depredadoras, parasitoides, fitófagos, desfoliadores, ingenieros del suelo y polinizadores (Vea capítulo IV). En ambas localidades se contabilizaron más de 32 lombrices de tierra por metro cuadrado (Vea capítulo III), que influyen positivamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de los agroecosistemas y por consiguiente en el crecimiento y desarrollo de los vegetales.

En un estudio realizado en Cuba se constató que:

La biodiversidad asociada fue un componente muy difícil de evaluar y entender integralmente debido a que incluye a los organismos convencionalmente considerados como beneficiosos (polinizadores, reguladores naturales, biota epifítica, biota rizosférica, entre otros) y los clasificados como nocivos (plagas y enfermedades); pero paulatinamente los agricultores comprendieron que los nocivos forman parte de las relaciones coevolutivas con sus plantas hospedantes y sus reguladores naturales, solo que las tecnologías convencionales contribuyen a considerarlos como malos debido a que se elevan sus poblaciones y nocividad consecuentes. Al respecto hubo un entendimiento que resulta necesario tolerar bajas poblaciones de estos organismos que actúan como fitófagos, fitoparásitos y

fitopatógenos, y considerarlos como elementos de la biodiversidad asociados a las plantas, al igual que el resto. (Vázquez *et al.*, 2014, p. 160)

2.7. Coeficiente de manejo de la biodiversidad

El coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) resulta del promedio aritmético de sus seis indicativos (Vázquez Moreno, 2013; p. 38). Este osciló entre 1.34 y 1.98 (Figura 2.1 y 2.2), que indican que estos agroecosistemas poseen diseños y manejos de su biodiversidad poco complejo.

Típico de los seis agroecosistemas es el deficiente manejo del suelo y del agua, la dependencia de insumos externos, hay que mejorar los diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva, auxiliar y los elementos de la biota asociada.

Por otra parte, se ha demostrado que una alta dependencia de insumos externos y un uso indiscriminado de los agrotóxicos contribuyen a contaminar las fuentes de agua de los agroecosistemas y de la cuenca; a reducir la diversidad biológica en el suelo, la de los ríos y riachuelos. Desde esta perspectiva Armenta-Bojórquez *et al.* (2010) afirman que:

Los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados por los cultivos, el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos con NO_3^- , eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global. (p. 51)

El glifosato es un herbicida que se aplica muy frecuente en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz. Ramos Morales (2016) analizó el efecto del glifosato sobre las propiedades del suelo de una plantación forestal de *Cedrela lilloi* C. DC. y comprobó un descenso numérico importante de las poblaciones de termitas, hormigas y lombrices, y estas últimas presentaron una correlación negativa y significativa (-0,596) (p. 80).

Así mismo, es muy negativo para estos agroecosistemas que prácticamente no se incorporan abonos orgánicos al suelo, a pesar que ellos disponen de las excretas del ganado bovino para elaborar fertilizantes orgánicos sólidos y líquidos. Adicionalmente, el agua drena de forma natural y dada las características edafoclimáticas de la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera de Indio Maíz, es perentorio que en los seis agroecosistemas se gestione de manera sostenible el recurso suelo, que incluya la implementación de obras de conservación de suelos y agua, tales como curvas a nivel, barreras vivas o muertas, acequia o zanjas a nivel, zanjas de drenaje pluvial en zonas con potencial de encharcamiento, diques de piedras o postes, miniterrazas, agroforrestería, cultivos intercalados con leguminosas y rotación con abonos verdes.

Para tal propósito, Oszust *et al.* (2014) plantean que para una gestión sostenible de este recurso natural no renovable se debe considerar lo siguiente:

La planificación del uso de la tierra mediante la inclusión de tecnologías disponibles con alto impacto en la conservación del suelo. La evaluación de la calidad del suelo mediante la valorización de indicadores de uso de la tierra. La propensión a una mejora del entorno productivo con la comunidad que interactúa en la nueva ruralidad. La utilización de un abordaje de escala a nivel de cuenca y teniendo en cuenta la diversidad productiva y la heterogeneidad que presenta el paisaje. La utilización de tecnologías y procesos que tienen una visión en la conservación de los recursos naturales. (p. 71)

Cotler *et al.* (2007) proponen que la conservación de los suelos debe ser de interés público porque:

(...) existen elementos suficiente para afirmar que esta cuestión ambiental debiera ser tratada como un problema público importante y de atención permanente; dado que los distintos tipos de degradación de este recurso tienen también distintos tipos de incidencias negativas sobre el bienestar de las poblaciones, como la pérdida de productividad, que genera aumento de la pobreza pudiendo promover migraciones, tolvánicas que afectan la infraestructura urbana, azolves en presas que reducen su tiempo de vida, pérdida de hábitats acuáticos que deterioran la pesca, aumento de inundaciones, arrastre de basura en las ciudades así como también incremento en los gases con efecto invernadero. (p. 65)

Por consiguiente, es fundamental, que estos agricultores se capaciten para que gestionen de manera sostenible el recurso suelo y agua en sus agroecosistemas, para que elaboren insumos biológicos y los aplique a los rubros productivos vegetales y animales. Además, estos agricultores deben gestionar capacitaciones sobre diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada. De esta forma, ellos serán cada vez menos dependientes de los agroquímicos sintéticos y contribuir a la soberanía alimentaria, tecnológica y energética y a optimizar los bienes y servicios ecosistémicos que se fomenten en estos agroecosistemas para el bienestar de la familia campesina, la comunidad y la sociedad en general.

Lo ideal en la zona agroecológica de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, que por sus características edafoclimáticas es muy frágil; es contar con agroecosistemas con diseños y manejos de los elementos de su biodiversidad complejos o altamente complejos, gestionados bajo principios ecológicos, que han sido propuestos por Reijntjes *et al.* (1992, p. 61).

Mientras más complejos son los diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad en los agroecosistemas, estos son más multifuncionales, sinérgicos con mayor estabilidad, mayor capacidad de resiliencia y productividad, pueden llegar a ser sostenible desde la dimensión o criterio socio-político-cultural, económico y agroambiental, garantizar la soberanía alimentaria, tecnológica y energética y coadyuvar a optimizar los bienes y servicios ecosistémicos que ellos ofrezcan para la salud y el buen funcionamiento del agroecosistema, el bienestar de la familia agricultura o campesina, la comunidad y la sociedad.

Para alcanzar la sostenibilidad y soberanía alimentaria, tecnológica y energética; y optimizar los bienes y servicios ecosistémicos que se fomenten en estos agroecosistemas para la salud y el buen funcionamiento del agroecosistema, el bienestar de las familias agricultoras, la comunidad y la sociedad, urge que sus propietarios implementen un plan de reconversión agroecológica para complejizar sus diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad, para que las interacciones y relaciones entre los elementos de la biodiversidad que los componen, por encima y por debajo del suelo, determinen en gran medida la calidad, salud y sostenibilidad de estos. Es recomendable que estos agroecosistemas estén conformados por áreas con diferentes agroecosistemas agroforestales, tales como, agrosilvicultura (Árboles con cultivos anuales y semiperennes), agrosilvopastoriles (Árboles, cultivos y ganado) y silvopastoriles (Cercas vivas multiestrato perimetrales e internas, árboles dispersos en los potreros, bancos de proteínas y cortinas rompevientos). La combinación de diferentes subsistemas agroforestales, en cada agroecosistema, garantiza “los rasgos deseados de los agroecosistemas que promueven la actividad biológica del suelo, promotora, a su vez, del funcionamiento del agroecosistema” (Barrios *et al.*, 2017, p. 113).

En la transición de la agricultura de sistemas convencionales a sostenibles sobre bases agroecológicas, la biodiversidad constituye un recurso natural esencial que se puede diseñar, planificar y manejar por el propio agricultor para favorecer su conservación y los procesos ecosistémicos que contribuyan a la eficiencia del sistema de producción (...), los agroecosistemas son dinámicos y están sujetos a diferentes tipos de manejo, los arreglos de cultivos en el tiempo y el espacio están cambiando continuamente de acuerdo con los factores biológicos, socioeconómicos y ambientales, variaciones en el paisaje que determinan el grado de heterogeneidad característica de cada región agrícola, (..) resulta posible evaluar por los propios agricultores, de manera sencilla y rápida, los elementos de la biodiversidad, su diseño y manejo, así como las principales interacciones que se logran, lo que constituye una herramienta útil para el diagnóstico inicial y de los avances en la reconversión de sistemas de producción convencionales a sostenibles. (Vázquez *et al.*, 2014, p. 151 y 161)

Hay que frenar drásticamente el deterioro del recurso suelo y la biodiversidad en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz dado que:

El cuidado del suelo es fundamental para la agricultura sostenible, pero la biodiversidad lo es también. De manera que es importante pensar que cuanto más cuidamos la heterogeneidad y la funcionalidad del ambiente en su conjunto, mejor será la respuesta que este puede ofrecer frente a las incertidumbres climáticas o a las perturbaciones de distinta naturaleza. Un agroecosistema excesivamente modificado, simplificado, y contaminado, no será un buen proveedor de servicios ecosistémicos (agrícolas, ecológicos y de otros tipos). Para producir alimentos conservando la potencialidad de los agroecosistemas, se deberá cuidar la salud de este y la funcionalidad de todos sus componentes. (Calamari *et al.*, 2014, p. 70)

Por consiguiente, el principal recurso natural no renovable que hay que restaurar, mejorar y proteger en los agroecosistemas es el suelo “por sus capacidades productivas y por su contribución a la seguridad alimentaria y al mantenimiento de servicios ecosistémicos fundamentales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015, p. 1). Por otra parte, el principal recurso natural renovable que hay que proteger, conservar y fomentar en los agroecosistemas es la biodiversidad, porque esta promueve los bienes y servicios ecosistémicos necesarios para una agricultura sostenible y para el bienestar de la sociedad.

Tittonell (2017) plantea que “la agroecología ofrece innovaciones técnicas y en materia de organización, que abren el camino a un modelo agrícola restaurador, adaptable, inclusivo y eficaz en el uso de los recursos a nivel mundial” (p. 18). Hainzelin (2017) asevera que:

La agroecología se basa fundamentalmente en el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la producción agrícola (...), es aumentar la producción de biomasa mediante la mejora de los servicios prestados por los organismos vivos, y aprovechar al máximo los recursos naturales, en especial los que son abundantes y gratuitos (por ejemplo la radiación solar, el carbono y el nitrógeno atmosférico y las precipitaciones), (...). Producirá una mejora de los servicios ecológicos y las interacciones de la diversidad funcional por encima y por debajo de la superficie del suelo en espacio y en el tiempo, intensificando los ciclos biológicos de los nutrientes, el agua y la energía; y controlando los agresores de los cultivos. (p. 41)

Es decir, que se trata de una intensificación ecológica de la agricultura y escalonamiento del paradigma de la agroecología que descansa en la optimización de los servicios ecosistémicos pertinentes como la regulación natural de plagas, la sostenibilidad de la salud y fertilidad del suelo y la polinización, que favorecerá la conservación y restauración de los recursos naturales, y a la sostenibilidad de los agroecosistemas localizados en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz.

Salazar Centeno *et al.* (2017b) aseveran que la sostenibilidad de los agroecosistemas:

No solamente consiste en implementar prácticas agroecológicas (dimensión agroambiental) en estos, sino que en la gerencia de estos agroecosistemas, además de estas, hay que considerar prácticas e indicadores de las dimensiones socio-político-cultural y económica, las cuales deben ser parte de un plan de gestión integral de cada agroecosistema, que para implementarlo se necesita voluntad del campesino para trabajar, cambiar de actitud, invertir en los agroecosistemas con visión empresarial y de futuro, para lo cual es fundamental la integración de la familia para emprender los trabajos y garantizar la democracia de los procesos internos. (p. 74)

En este contexto, Salazar Centeno (2013) afirma que:

Transformar un agroecosistema de estructura simple a uno de estructura compleja o agroecológico, es un proceso del que se puede saber su inicio, pero no su finalización. Este depende de varios factores como: nivel académico y grado de asociatividad del agricultor, capacitación, asistencia técnica, financiamiento, políticas que fomentan este tipo de producción y de las condiciones agroecológicas. (p. 62)

Estos resultados y las reflexiones de las evaluaciones agroecológicas realizadas, en Nicaragua, en agroecosistemas con café (Salazar Centeno *et al.*, 2017a, p. 78-81), con ganadería bovina (Salazar Centeno *et al.*, 2017b, p. 64-66) y con granos básicos (Salazar Centeno, *et al.*, 2017c, 72-74), y las conclusiones de Díaz Torres (2019, p. 96-97) en agroecosistemas con cacao y las de Cáliz Guillén (2017, p. 48) en agroecosistemas con café, permiten proponer que para una intensificación ecológica de la agricultura y escalonamiento (cualitativo, cuantitativo, hacia arriba, hacia abajo, horizontal y vertical) del paradigma de la agroecología cimentada en la optimización de los bienes y servicios ecosistémicos, es necesario constar con agroecosistemas con diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad complejos o altamente complejos.

En Nicaragua, para alcanzar este arduo propósito hay que elaborar e implementar una política de Estado para el escalonamiento del paradigma de la agroecología, que aglutine a los gobiernos departamentales, municipales, instituciones académicas nacionales, regionales e internacionales, organismos no gubernamentales, instituciones de gobierno relacionadas con el desarrollo rural integral, agencias y organismos donantes, a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), asociaciones de productores, cooperativas agrícolas, al Movimiento de Productoras y

Productores Agroecológico y Orgánicos de Nicaragua (MAONIC), a la empresa privada pequeña, mediana y grande que distribuyen y comercializan productos agrícolas, a los consumidores; a los líderes de las comunidades y a los agricultores que deseen convertir sus agroecosistemas en verdaderos faros agroecológicos, considerando los seis lineamientos propuestos por Mangione & Salazar Centeno (2020), que a continuación se describen:

1. El agricultor articula e integra, en el agroecosistema, los tres componentes del paradigma de la agroecología (Ciencia, tecnologías y prácticas, y movimientos sociales para el cambio social).
2. El agricultor articula e integra, en el agroecosistema, las tres dimensiones de la sostenibilidad (Ecológica y técnica agronómica, socio económica y sociocultural y política).
3. El agricultor integra el agroecosistema al sistema educativo y lo articula para que contribuya a las tres funciones sustantivas de la educación superior (docencia, investigación e innovación y proyección social).
4. El agricultor implementa en el agroecosistema un conjunto de tecnologías y prácticas agroecológicas que se apegan a los principios ecológicos y agroecológicos del paradigma de la agroecología.
5. El agricultor implementa en el agroecosistema un conjunto de tecnologías y prácticas agroecológicas que se apegan al enfoque del paradigma de la agroecología (Fitomejoramiento participativo, salud del suelo y la sostenibilidad de la agricultura, contribución de la diversidad entomológica, incluidos los polinizadores en los sistemas de producción de alimentos, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los paisajes agrícolas y reducción de insumos externos).
6. El agricultor o campesino debe estar comprometido a promover el paradigma de la agroecología, considerarlo como una filosofía de vida y demostrarlo con su ejemplo. (p. 41)

En síntesis, en Nicaragua, pero especialmente en las zonas de transición y amortiguamiento de Reservas Biológicas, como la de Indio Maíz; y en el marco del ascalonamiento del paradigma de la agroecología se deben promover agroecosistemas que contribuyan a la restauración, mejora y protección de los recursos naturales renovable (Agua y biodiversidad) y no renovables (suelo) de los que depende la agricultura y la sociedad. A los agricultores o campesinos se deben apoyar para que ellos desarrollen las competencias para que establezcan y evalúen diseños y manejos de la biodiversidad complejos o altamente complejos en sus agroecosistemas, de modo que los diseños y manejos de la biodiversidad vegetal productiva, los de la biodiversidad auxiliar y manejo agroecológico de la incidencia y diversidad de arvences o malezas, que son partes de los elementos de la biodiversidad asociada, usen lo más eficientemente la energía solar (luz), el agua del suelo y el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera para que liberen oxígeno (O_2) al aire y produzcan la mayor cantidad de fitomasa, porque esta promueve positivamente la producción de los bienes y servicios ecosistémicos. Es *sine qua non* que una parte de la fitomasa viva y/o muerta cubra permanentemente el suelo y que la muerta se recicle de materia orgánica a inorgánica y viceversa, porque este proceso activa positivamente todas las cadenas tróficas al exterior e interior del suelo.

Todo en su conjunto garantiza los bienes y servicios ecosistémicos de los que depende la agricultura (Cultivo de plantas y crianza de animales), la familias productoras o agricultoras y la sociedad en general. Esto contribuye, particularmente, a hacer realidad los Objetivos de Desarrollo Sostenible dos (Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible) y el trece (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos).

Referencias

- Altamirano Hernández, I. J., Amador López, M. F., & Montalván Castellón, O. (2017). Complejidad y sostenibilidad de dos agroecosistemas con cacao, Siuna, 2017. *Revista universitaria del caribe*, 19(2), 103-112. <http://ecampus.uraccan.edu.ni/index.php/Caribe/article/view/493/501>
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. 6(1), 51-56. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46112896007.pdf1>
- Barrios, E., Shepherd, K., & Sinclair, F. (2017). La salud del suelo y la sostenibilidad de la agricultura: el papel de la biota del suelo. En FAO, *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutricional: actas del simposio internacional de la FAO, 18-19 de septiembre de 2014, Roma, Italia* (pág. 444). Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>
- Blanco, Y., & Leyva, A. (2007). Las arvenses en los agroecosistemas y sus beneficios agroecológicos como hospederos de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731003.pdf>
- Brown, G., Frogoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., Rodríguez, F. (2001). *Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*. <https://www.researchgate.net/publication/26504394>
- Calamari, N. C., Gavier, G., Zaccagnini, M. E., Orduna, L. A., Decarre, J., Merke, J., ... Solari, L. (2014). Función de las terrazas reservorios-vegetadas y pautas de manejo para conservar la biodiversidad. En M. E. Zaccagnini, M. Wilson, & J. D. Oszust, *Manual de Buenas Prácticas para la Conservación del suelo, la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos* (pág. 95). Buenos Aires, Argentina. doi:10.13140/2.1.1820.7045
- Cáliz Guillén, M. J. (2017). Caracterización agroecológica de cuatro agroecosistemas de café (*Coffea arabica* L.) en Madriz y Nueva Segovia, Nicaragua, 2016-2017. 55. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/3514/1/tnf40c154.pdf>
- Castro Guzmán, J. N. (2021). Calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 80.
- Cleves Leguizamón, J. A., & Toro-Calderón, J. J. (26 y 27 de noviembre de 2018). La estructura agroecológica principal: estructura disipativa de adaptación ambiental en la agricultura. *Congreso Nacional del Medio Ambiente*, 7. Colombia. <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2018/CT%202018/222224187.pdf>

- Cleves-Leguizamo, J. A., Toro-Calderón, J., Martínez-Bernal, L. F., & León-Sicard, T. (2017). La Estructura Agroecológica Principal (EAP): novedosa herramienta para planeación del uso de la tierra en agroecosistemas. *Revista colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 441-449. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v11n2/2011-2173-rcch-11-02-00441.pdf>
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, 83, 5-71. <https://www.google.com/search?q=la+conservaci%C3%B3n+del+suelo%3A+un+asunto+de+inter%C3%A9s+p%C3%ABlico.+AGabrcielt-aju+encioo+ld%C3%B3eg+i2c0a0+873+%282007%29%3A+5-71+%C2%A9+Instituto+Nacional+de+Ecolog%C3%ADa%2C+M%C3%A9xico&ie=utf-8&oe=utf-8&client=fir>
- De la Ossa-Lacayo, A. (2013). Cercas vivas y su importancia ambiental en la conservación de avifauna nativa. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.*, 171-193. [Dialnet-CercasVivasYSuImportanciaAmbientaEnLaConservacion-4694165.pdf](http://dialnet-cercasvivasysuimportanciaambientalenlaconservacion-4694165.pdf)
- Díaz Torres, K. R. (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria, 17-31. Managua, Nicaragua. https://repositorio.una.edu.ni/3870/1/t_n_f_0_8_d_5_4_2_e_p_d_f
- Gómez López, Á. R. (2021). Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 67.
- Hainzelin. (2017). Mejora de la función y la prestación de servicios ecosistémicos en la agricultura: los principios agroecológicos. En E. Hainzelin, *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición: actas del simposio internacional de la FAO, 18-19 de septiembre, Roma, Italia* (pág. 444). Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M., . . . Sinclair, F. L. (2003). Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas*, 30-39. <http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6370s/x6370s00.pdf>
- León-Sicard, T., Mendoza Rodríguez, T., & Córdoba Vargas, C. (2014). La estructura agroecológica principal de la finca (EAP): un nuevo concepto útil en agroecología. *Agroecología*, 9(1 y 2), 55-66. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/53837/1/300621-1030111-1-SM.pdf9>
- Leu, A. (2017). Enfoques ecológicos para reducir los insumos externos en la actividad agrícola. En FAO, *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición: actas del simposio internacional de la FAO del 18-19 de septiembre del 2014* (pág. 465). FAO. <http://www.fao.org/3/i4729s/i4729s.pdf>
- Mangione, S. M., & Salazar Centeno, D. J. (2020). Faro Agroecológico La Arboleda como estrategia de escalonamiento del paradigma de la agroecología en el municipio Villa Dos Trece, Departamento Pirané, Formosa. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencia Agrarias, UNLZ*, 7(2), 13-47. <http://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/Mangione-y-Salazar-.pdf>
- Menalled, F. D. (2010). Consideraciones ecológicas para el desarrollo de programas de manejo de integrado de malezas. *Agroecología*, 5, 73-78. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/160581/>

- Mendoza, P. A. (2020). *Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad del suelo en dos agroecosistemas con cacao (Theobroma cacao L.)*, Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua 2017-2018. Managua: Universidad Nacional Agraria, tesis de ingeniero agrónomo.
- Morales, J., & Sarmiento, L. (2002). Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. *Escotopicos*, 99-110. <https://www.researchgate.net/publication/260338283>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2015). *El suelo un recurso natural no renovable: su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible*. <http://www.fao.org/3/i4373s/i4373s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2016). *Estado mundial del recurso suelo: resumen técnico*. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>.
- Oszust, D., Wilson, W. G., Zaccagnini, M. E., Gabioud, E. A., Stamatti, G., & Sasal, M. C. (2014). Consideraciones finales: Conservación de suelos, biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos a partir de la sistematización de tierras. En M. E. Zaccagnini, M. G. Wilson, & J. D. Oszust, *Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos* (pág. 95). doi:10.13140/2.1.1820.7045
- Ramos Morales, M. M. (2016). *Efecto del glifosato sobre las propiedades del suelo de una plantación forestal de Cedrela lilloi C. Dc.- Leoncio Prado, Huanuco. Huancayo, Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3483/Ramos%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reijntjes, C., Haverkort, B., & Waters-Bayer, A. (1992). *Farming for the future: An introduction to Low-External-Input and Sustainable Agriculture*. Malaysia: Macmillan Education Ltd. <https://edepot.wur.nl/419516>
- Rodríguez González, H. R., Aguilera Quiroz, Y. J., Pilarte Morraz, M. D., Herradora Gutiérrez, Y. D., Galeano Altamirano, N. M., García López, O., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017c). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua* (págs. 21-28). Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Chavarría Díaz, B. R., Martínez Arauz, J. A., & Rocha Espinoza, J. D. (2017b). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>

- Rodríguez González, H. R., González Merlo, L. H., Herrera Moncada, H. J., Vargas Urbina, J. E., Laguna Ramírez, M. J., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017a). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., & Fernández Álvarez, J. C. (2021). Macrofauna superficial y edáfica en Nicaragua: distribución espacial, abundancia, diversidad y funciones. En J. Rojas Meza, F. Chavarría Aráuz, & D. J. Salazar Centeno, *La agroecología y agroindustria: bases para el desarrollo rural en Nicaragua, memoria del VIII Congreso Nacional de Desarrollo Rural* (pág. 202). Managua: Editorial Universitaria UNAN Managua. <https://cenida.una.edu.ni/textos/NE21R741.pdf>
- Salazar Centeno, D. (2013). Nicaragua: potencial faro regional para el diseño y evaluación de agroecosistemas agroecológicos. *La Calera*, 13(20), 58-65. <https://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/CALERA/article/view/656/628>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017b). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017c). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Silva, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>
- Solano Pérez, Á. T., & Gúzman Monroy, C. A. (2020). Diversidad de plantas arvenses presentes en la granja la María de la Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia y sus beneficios ecológicos Tunja-Boyacá. Colombia. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3154/1/TGT_Diversidad_plantas_arvenses.pdf
- Tittonell, P. (2017). Seguridad alimentaria y servicios ecosistémicos en un mundo en evolución: ha llegado la hora de la agroecología. En FAO, *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición: actas del simposio internacional de la FAO. 18-19 de septiembre de 2014, Roma, Italia* (pág. 444). <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>
- Vázquez Moreno, L. L. (2013). Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología*, 33-42. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182951>
- Vázquez, L. L., Matienzo, Y., & Griffon, D. (2014). Diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica. *Fitosanidad*, 18(3), 151-162. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209143451003.pdf>

Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., & Arguedas, R. (2005). *Las cercas vivas en las fincas ganaderas*. INPASA. http://repositorio.uca.edu.ni/2227/1/las_cercas_vivas_en_las_fincas_ganaderas.pdf

CAPÍTULO III. GESTIÓN AGROECOLÓGICA DEL SUELO FUNDAMENTADA EN INDICADORES DE SU CALIDAD PARA PROMOVER SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Leonardo José García Centeno¹, Anielka Paola Mendoza², Juan Noel Castro Guzmán³ y Álvaro Reynaldo Gómez López⁴

¹Maestría en Suelos. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3474-242X>, leonardo.garcia@ci.una.edu.ni

² Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. anilkita94@hotmail.com

³ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. noel.castroguzman@yahoo.com

⁴ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. alregolo1979@yahoo.com

Los suelos están integrados por dos grandes fases, una sólida y una porosa. La fase sólida idónea debe estar representada en un 45% por minerales y un 5% por materia orgánica, y la fase porosa debería estar ocupada, un 50 % por agua y el otro 50% por aire. Los suelos, como parte de los ecosistemas y de los agroecosistemas, prestan importantes funciones o servicios ecosistémicos que mantienen a estos y que apoyan las actividades sociales y económicas de las personas.

Como sistemas vivos y dinámicos, “los suelos son multifuncionales, complejos y autoorganizados, donde ocurren procesos biológicos, físicos, químicos y fisicoquímicos que les permiten evolucionar” (Lavalle *et al.*, 2016, p. 92). Estos procesos proporcionan numerosos bienes y servicios ecosistémicos, entre los cuales se consideran “el suministro de nutrientes para las plantas “control de las emisiones de gases de efecto invernadero, secuestro de carbono, desintoxicación y protección de las plantas contra las plagas, filtrado, purificación y almacenamiento de agua, entre otros” (Lavelle *et al.*, 2006, p. 1). Todas estas funciones y procesos han conducido al establecimiento de criterios para evaluarlos y asociarlos a la calidad de los suelos. “En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa” (Karlen *et al.*, 1977, p. 6).

El concepto de calidad del suelo ha estado asociado con el de sostenibilidad. Para Buol, (1995):

el uso del suelo se debe basar en la capacidad de este para proporcionar elementos esenciales, pues estos son finitos y limitan, por ende, la productividad. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad. (p. 27-28)

Se ha indicado que las principales funciones de los indicadores del suelo son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras.

Hünnemeyer *et al.* (1997) señalan que:

Los indicadores de calidad edáfica permiten analizar la situación actual e identificar los puntos críticos respecto a la sostenibilidad de la finca como medio productivo o recursos natural importante para la calidad de vida, o el mantenimiento de la biodiversidad, sirve, además, para analizar los posibles impactos antes de una intervención, evaluar el impacto de las intervenciones, y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible. (p. 17)

Por consiguiente, “la evaluación de la calidad de suelo es indispensable para determinar si el sistema de manejo empleado es sustentable, tanto en el corto como el mediano y largo plazo” (Doran & Parkin, 1994, p. 28). Estos indicadores son utilizados como una herramienta para identificar áreas con problemas, buscando estimadores realistas de producción y monitoreando cambios en la calidad ambiental, relacionado al manejo agrícola.

Según Doran y Parkin (1994):

los indicadores de suelo deben cumplir las siguientes condiciones: a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente. (Citado por Bautista Cruz *et al.*, 2004, p. 93)

La aplicación del capítulo 40 de la Agenda 21 condujo al desarrollo de diversas metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros.

Recientemente, en agroecosistemas nicaragüenses con cacao, café, ganadería bovina y granos básicos, se han categorizado y representado en gráficas radiales o de araña cuatro indicadores físicos, cuatro químicos y uno biológico, de calidad de suelos (Díaz Torres, 2019, p. 39-45; García Centeno *et al.*, 2017a, p. 41-45; García Centeno *et al.*, 2017b, p. 28-31 y García Centeno *et al.*, 2017c, p. 38-39), que permiten identificar, fácilmente, a nivel de parcela o lote, cuáles son los indicadores que presentan mayores limitantes, y a su vez definir las estrategias de gestión del suelo por lote o parcela para su mejoramiento, que deben cimentarse en los principios de la agroecología para un buen crecimiento, desarrollo y funcionabilidad de la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada, que garantiza los servicios ecosistémicos (soporte y regulación) para la optimización de los agroecosistemas y los bienes y servicios (aprovisionamiento y culturales) que los agroecosistemas deben ofertar para el bienestar, principalmente, de las familias campesinas, de la comunidad y de la sociedad, en general.

Adicionalmente, se cuantifican los contenidos de los nutrientes P (Fósforo), K (Potasio), Mg (Magnesio) y Ca (Calcio) y las relaciones intercatiónicas (Ca/Mg, Ca/K y Mg/K) en cada lote o parcela, de modo que el análisis integral de esta información, sumado al de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, que se categorizaron, contribuye al diseño de las estrategias para una gestión agroecológica del recurso suelo, como sistema vivo, dinámico y complejo, con exactitud por lote o parcela, y que coadyuve a promover bienes y servicios ecosistémicos que se gestan al interior y exterior del suelo.

3.1. Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo:

son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada. (Bautista Cruz *et al.*, 2004, p. 93)

Los cuatro indicadores de calidad física de los suelos evaluados, que se categorizaron, en los diferentes agroecosistemas son: profundidad (cm), textura, porosidad (%) e infiltración del agua (cmh^{-1}). En el agroecosistema la Palma (Figura 3.1) la profundidad varió entre 34 y 94 cm (Categorías 2 y 3). De las cuatro parcelas del agroecosistema (Cuadro 3.1), solamente dos (Pasto natural y cacao) presentaron buena profundidad (67 y 94 cm), de modo que estas prestan buenas condiciones para el desarrollo radical de los pastizales y los granos básicos. La parcela donde está establecido el cacao es la más profunda (94 cm), pero este cultivo demanda profundidades de suelo superiores a 150 cm para desarrollar adecuadamente su sistema radical, sobre todo su raíz pivotante, que es de anclaje y “debe profundizarse en el suelo al menos 150 cm” (Rivera, 2018, p. 4).

La textura es arcillosa en todas las parcelas (Categoría 1), y se corresponde con los altos valores de porosidad total entre ellas (Categorías 3 y 4). También, los resultados de estos parámetros se corresponden con el parámetro infiltración, que es relativamente lenta ($2 - 6 \text{ cm h}^{-1}$) en tres parcelas, excepto la de pasto natural, cuya infiltración es la idónea, que oscila entre 6.1 y 12.0 cmh^{-1} .

Las parcelas con texturas arcillosas, poca profundidad y con baja infiltración podrían estar expuestas a procesos erosivos importantes, si las precipitaciones superaran las medias locales y mermen la calidad del suelo y su capacidad de sustentar los cultivos que en estos se establezcan. A pesar de que se trata de suelos arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), pero además con una buena presencia de limo fino, lo que de alguna manera contribuirá a mejorar la infiltración y a disminuir el impacto erosivo por lluvia. En las parcelas con cacao y pasto natural, la infiltración es favorecida por la profundidad de los suelos que corresponden a 94 y 67 cm respectivamente.

Situación similar se encontró cuando se evaluó el agroecosistema El Recuerdo (Figura 3.2). La profundidad del suelo varía entre 50 y 86 cm (Categorías 2 a 3, Cuadro 3.1). Las cuatro parcelas aunque presentaron profundidades un poco menores que en La Palma, es aceptable para los cultivos establecidos, ofreciendo buenas condiciones para el desarrollo radical de los pastos y granos básicos, pero no para el cacao, pues este requiere una profundidad de suelo superior a 150 cm. Adicionalmente, la parcela con cacao es la menos profunda (50 cm) en este agroecosistema, lo que en ocasiones ha facilitado la caída de árboles, cuando se presentan fuertes vientos, ya que la roca madre se encuentra bastante superficial. Este cultivo no es recomendado para esta parcela, porque su suelo no le permite desarrollar bien su sistema radical.

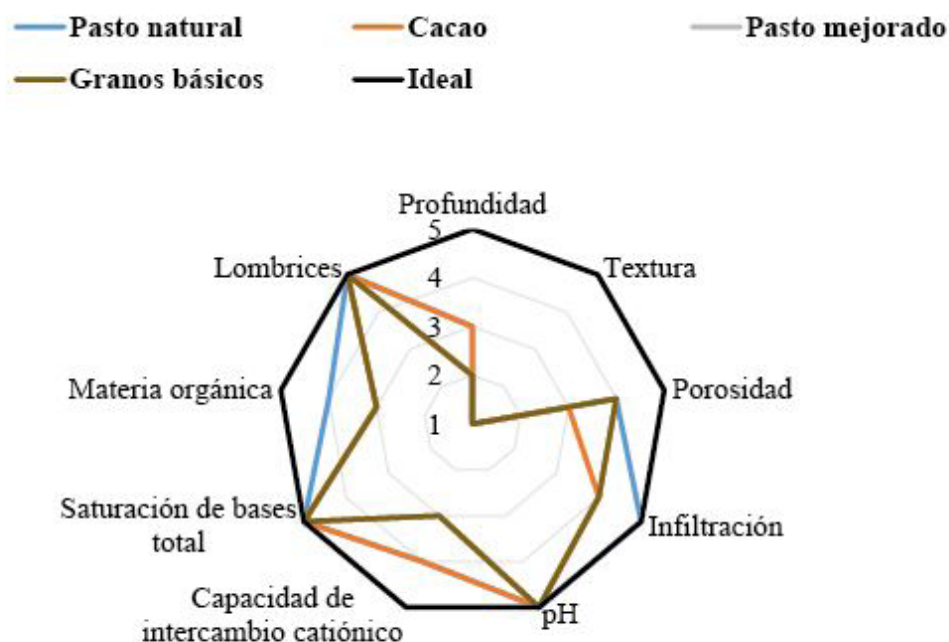


Figura 3.1. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema La Palma, propietario Reynaldo Galeano Reyes, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Gómez López, 2021, p. 34).

En todas las parcelas, la textura de los suelos es arcillosa con una buena presencia de limos (Categoría 1), lo que hace que los valores de porosidad total no sean tan altos en las cuatro parcelas del agroecosistema como para que representen una limitante para el desarrollo de los cultivos por exceso de agua, los valores obtenidos oscilaron entre 56 y 69%. También, los resultados de estos parámetros se corresponden con los parámetros de infiltración, que es relativamente lenta ($2 \text{ a } 6 \text{ cm h}^{-1}$). Esta característica de baja infiltración podría ser limitante, si las precipitaciones superaran las medias locales como suele suceder, pero a su vez, aunque se trata de suelos arcillosos y arcillo limosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), lo que de alguna manera facilita un poco la infiltración, y se evitan periodos prolongados de inundación. La parcela con cacao es la que se puede ver más afectada con la infiltración debido a que esta presenta la menor profundidad en el agroecosistema (50 cm, Cuadro 3.1).

La Figura 3.3 muestra las categorías de los parámetros físicos evaluados del suelo en el agroecosistema Los Mangos. La profundidad del suelo varía entre 27 a 99 cm (Cuadro 3.1). De las cuatro parcelas del agroecosistema, la de pasto natural presenta la categoría más alta (3), que corresponde a la de mayor profundidad (99 cm, Cuadro 3.1), de modo que existen buenas condiciones para el desarrollo de pastizales. La parcela con granos básicos es la que presenta menos profundidad 27 cm, por lo que es necesario implementar obras de conservación de suelos y agua para evitar pérdidas de suelos durante el periodo lluvioso.

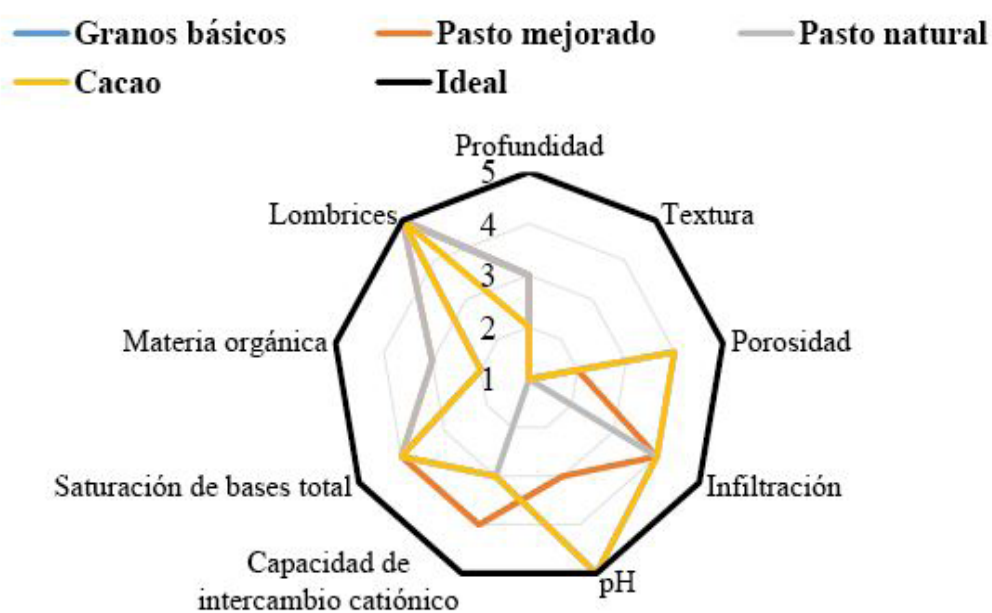


Figura 3.2. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Recuerdo, propietario, Julio Cesar Martínez Varela, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Gómez López, 2021, p. 35).

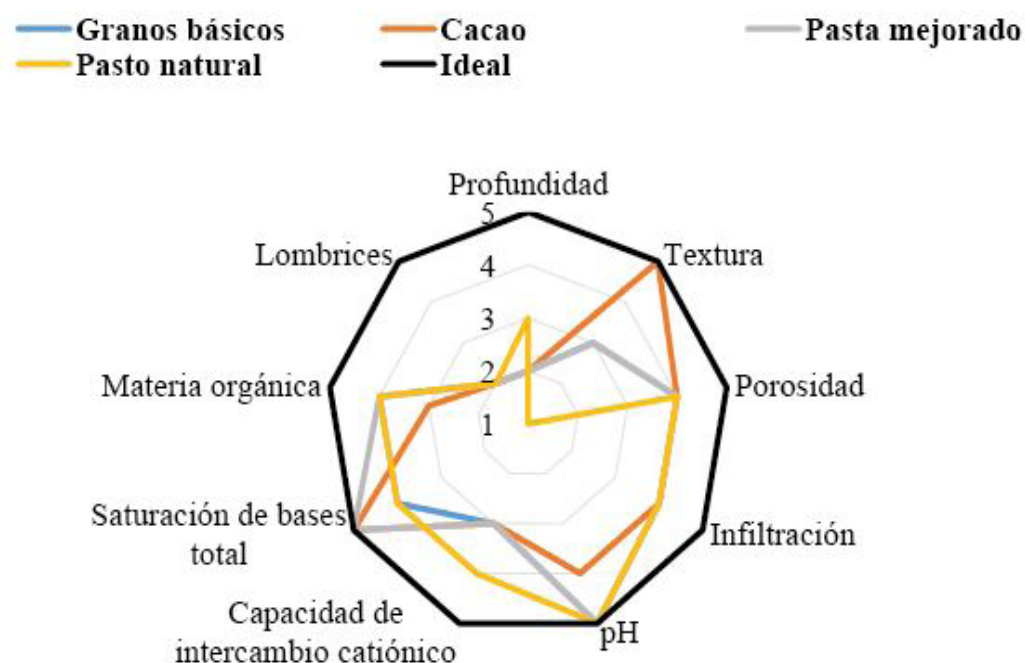


Figura 3.3. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Mangos, propietario Ángel Martínez, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 51).

En este agroecosistema, la textura varió entre arcilloso y franco arcilloso, siendo más variables que en los otros agroecosistemas antes evaluados. Las texturas determinadas se corresponden con los altos valores de porosidad de los suelos, en todas las parcelas. También, los resultados se correspondieron con el parámetro infiltración, ya que todas las parcelas alcanzaron la categoría 4, cuya infiltración oscila entre 2 y 6 cmh⁻¹. De acuerdo con los criterios antes descritos, esos suelos no deberían tener problemas de almacenamiento de agua, ni encharcamiento en periodos normales de precipitaciones.

El encharcamiento podría presentarse, si la velocidad de infiltración fuese superada por las medias locales de precipitaciones, pero a su vez, aunque, se trata de suelos arcillosos y franco arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), lo que de alguna manera facilita un poco la infiltración.

En el agroecosistema Los Reyes (Figura 3.4), la profundidad del suelo varía entre 30 y 51 cm (Cuadro 3.1), de modo que estas alcanzaron las categorías más bajas (entre 2 y 3) de los cuatro agroecosistemas hasta ahora evaluados, siendo esta la principal limitante que presentan esos suelos para los cultivos ahí establecidos, especialmente para el cacao.

La textura de los suelos alcanzó las categorías 4 y 5, que son consideradas como buenas desde el punto de vista agrícola, que se corresponde con los buenos valores alcanzados en la porosidad y velocidad de infiltración. La textura franca y franco arcilloso de los suelos, favorecen una buena aireación, una buena retención de agua y una buena infiltración, lo que ayuda a evitar posibles encharcamientos de los suelos, aun cuando las precipitaciones son abundantes.

En términos generales y de acuerdo con la categorización de los parámetros evaluados, la principal limitante física de los suelos en el agroecosistema Los Reyes, es la poca profundidad de sus suelos (30 a 50 cm, Cuadro 3.1) que, a su vez, limita su uso a cultivos con sistema de raíces poco profundas.

El agroecosistema El Mono, junto con El Jardín del Edén, son dos de los seis agroecosistemas evaluados, que además de ser grandes, tienen una mayor diversidad de cultivos e integra la ganadería como actividad importante dentro del sistema.

La Figura 3.5, muestra el comportamiento de los parámetros físicos del suelo evaluados, según categorización. En el agroecosistema El Mono, la profundidad del suelo varía entre 10 y 150 cm (Categoría entre 1 a 5). De las 10 parcelas del agroecosistema, nueve presentan excelente profundidad (entre 90 y 150 cm) de modo que existen buenas condiciones para el desarrollo de los cultivos establecidos (Cuadro 3.3). La parcela o lote con bosque es la menos profunda (10 cm), esta parcela ha estado expuesta a una fuerte erosión, que en ocasiones ha facilitado la caída de árboles, cuando se han presentado fuertes vientos, favorecido además a que esta tiene una pendiente muy pronunciada, y se localiza en la parte más alta del agroecosistema.

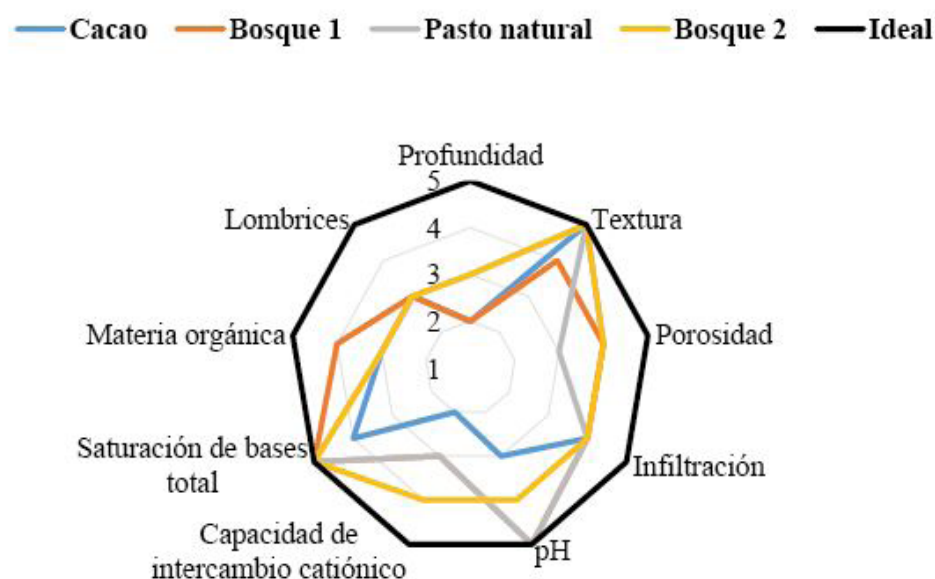


Figura 3.4. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Reyes, propietario Victorino Reyes, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 50).

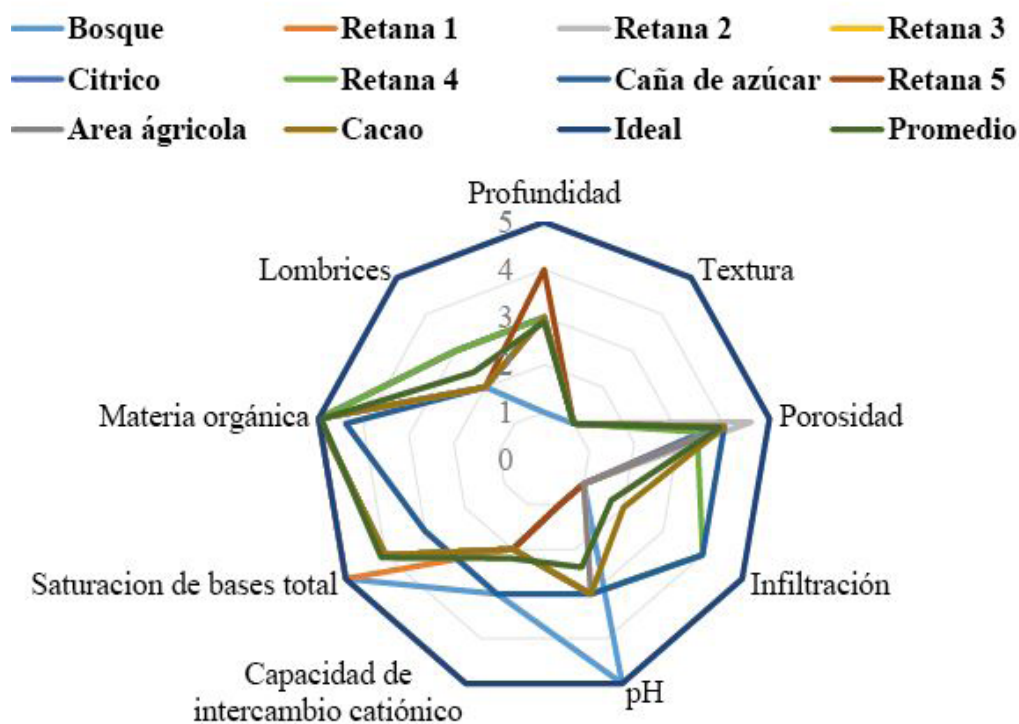


Figura 3.5 Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Mono, propietario Juan Pablo Herradora, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 45).

Respecto a la textura, todas las parcelas poseen suelos arcillosos (Categoría 1), estas texturas se corresponden con los altos valores de porosidad total, en ocho de las diez parcelas o lotes. Los resultados en estos parámetros se corresponden también con el parámetro infiltración, la que resultó ser muy lenta (menos de 2 cmh^{-1}) en las ocho parcelas antes mencionadas. Esta característica de baja infiltración podría ser limitante, si las precipitaciones superaran las medias locales, ya que se trata de suelos arcillosos. En el caso de las parcelas que presentan profundidades mayores a 90 cm, la infiltración pudiera verse favorecida.

La Figura 3.6 muestra el comportamiento de los parámetros físicos del suelo evaluados (Según categorización) en el agroecosistema Jardín del Edén. La profundidad del suelo de las parcelas varió entre 10 y 150 cm (Cuadro 3.4), la mayoría de las parcelas presentan buenas condiciones de profundidad para una buena variedad de cultivos que puedan establecerse. La parcela con menor profundidad fue la de Bosque (10 cm) y la más profunda es la de cítricos con 150 cm.

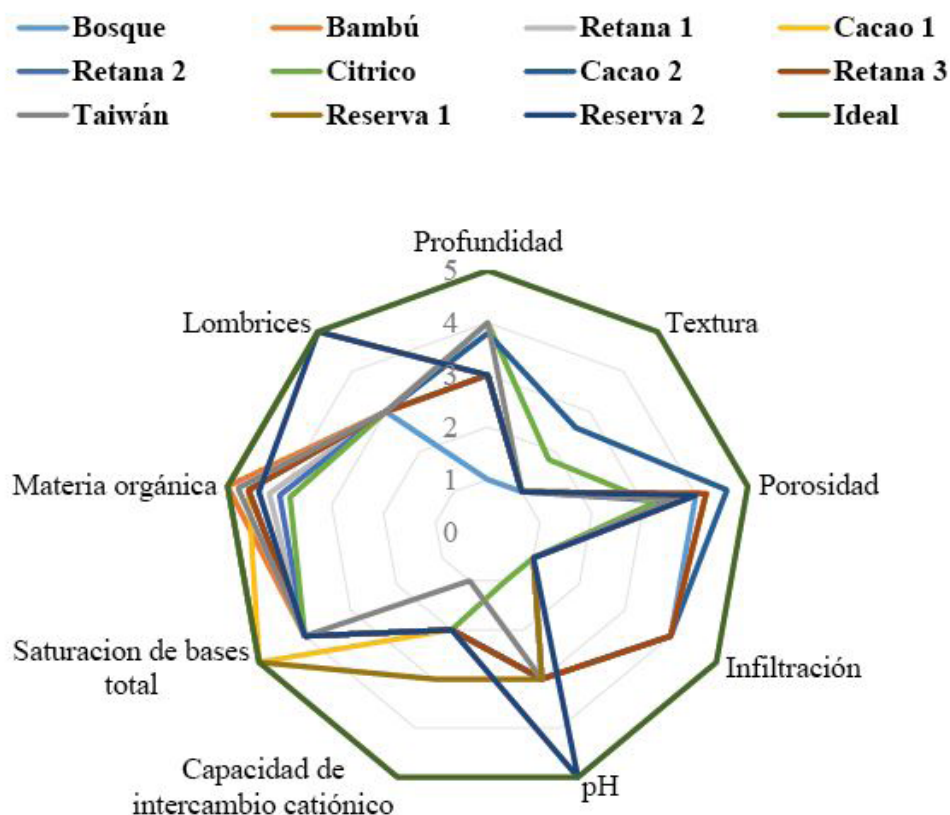


Figura 3.6. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Jardín del Edén, Patricio Maradiaga, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 50).

Respecto a la textura de los suelos, esta varió de arcillosos a franco arcillo limosos (Categorías 1 a 3). Nueve de las once parcelas evaluadas, poseen textura arcillosa (Categoría 1), que se corresponde con los altos valores de porosidad total. Si se observa la misma gráfica, se notará que los resultados de textura y porosidad total obtenidos se corresponden también con el parámetro infiltración, que es muy lenta (menos de 2 cmh^{-1}), en ocho de las nueve parcelas antes mencionadas. Aunque se trata de suelos arcillosos y franco arcilloso, las arcillas que predominan son hidróxidos de hierro (FeO-OH), las cuales no son plásticas, lo que de alguna manera facilita un poco la infiltración.

3.2. Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas

Los indicadores químicos se refieren a condiciones químicas que afectan “las relaciones suelo - planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos” (Soil, 1996, p. 2).

Los cuatro indicadores químicos que se evaluaron y se categorizaron en este estudio fueron pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (%) y materia orgánica (%). Estos indicadores categorizados nos muestran una radiografía amplia de la situación nutritiva de los suelos. Adicionalmente, se determinaron los contenidos de los nutrientes de P (Fósforo), K (Potasio), Mg (Magnesio) y Ca (Calcio) y las relaciones intercatiónicas. El análisis integral de esta información, en el que se incluye a los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, contribuye a diseñar estrategias para una gestión agroecológica del recurso suelo, como sistema vivo, con exactitud por lote o parcela, en cada agroecosistema, y fomentar bienes y servicios ecosistémicos en estos agroecosistemas.

El pH define la actividad química y biológica de un suelo, “los mejores rangos de pH para la agricultura están entre los 5.5 y 6.5” (Fassbender & Bornemisza, 1994, p. 173), este a su vez es un reflejo de las condiciones climática bajo las que se forma el suelo y del tipo de arcilla que predomina. El pH también influye en la disponibilidad de los nutrientes que se encuentran en el suelo. La materia orgánica por su parte, sus contenidos están asociados al clima, cantidad y tipo de vegetación, su descomposición en el suelo, también es afectada por el pH y el nivel de humedad del suelo, la materia orgánica mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la saturación de bases.

En el Cuadro 3.1 se presentan las características químicas del agroecosistema La Palma. Los valores de pH en las parcelas evaluadas se clasifican como ligeramente ácido (6.25 a 6.53). Todas las parcelas o lotes de este agroecosistema alcanzaron la máxima categoría (5, Figura 3.1), considerada como ideal e indica que este factor no debe afectar la disponibilidad de los nutrientes. No obstante, los análisis de suelo (Cuadro 3.1), también, muestran que los niveles de fósforo disponible son extremadamente bajos (0.60 a 1.14 ppm) y no son

suficientes para satisfacer los requerimientos de los cultivos menos exigentes a este elemento, por lo que su aplicación debe ser de importancia en esas parcelas. Los valores de potasio (K) disponible variaron entre 0.28 y 0.47 meq en 100 g de suelo. Aunque estos valores son indicadores de contenidos medios de potasio, las condiciones de clima y la disponibilidad de otros elementos con los que guarda relaciones antagónicas pueden provocar deficiencias de este elemento.

En este agroecosistema, el parámetro químico pH no es limitante (Cuadro 3.1 y Figura 3.1), y este influye grandemente en la disponibilidad de todos los nutrientes, aun así, la deficiencia de fósforo que se presente no dependerá, exclusivamente, del pH, si no de la baja cantidad disponible en las parcelas. Las deficiencias de potasio en las parcelas o lotes se deberán, no a la cantidad presente en el suelo (que se considera media), sino al antagonismo provocado por las altas cantidades de calcio en las parcelas.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) se clasifican entre óptimos y altos, y están acordes a los valores de pH encontrados. La relación intercatiónica entre estos elementos es adecuada para Ca/Mg (Intervalo adecuado de la relación es de 5 y 25). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos con relación al potasio, se encuentra fuera de los rangos ideales, que indica que por los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K, se pueden presentar (como se había señalado anteriormente) deficiencias de este último, en los cultivos establecidos, con excepción de la parcela con granos básicos, que a pesar de estar en el rango establecido (3.5-15) se encuentra muy cercano al límite superior con probabilidad de que exista deficiencia de potasio en esos cultivos.

En el Cuadro 3.2 se presentan las cantidades de nutrientes disponibles, en kilogramos por hectárea, para los cultivos establecidos en cada parcela de este agroecosistema. De acuerdo con la clasificación de suficiencia, los valores de potasio en las parcelas en estudio podrían disponer de aproximadamente 339 kilogramos de potasio disponible, lo que para granos básicos es suficiente, no obstante, los altos contenidos de Ca y Mg bloquearían la absorción de ese elemento. Una estrategia de manejo para mejorar la disponibilidad de fósforo y potasio es la aplicación suficiente de estos elementos, sobre todo con el uso de productos de baja solubilidad.

El parámetro de saturación de base es considerado alto (Figura 3.1, categorías 5) y está influenciada por la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos y por los contenidos de materia orgánica, además los altos valores de bases en el suelo no evidencian un lavado importante de estos elementos.

En la parcela con pasto natural, el contenido de materia orgánica (MO) alcanzó la categoría 4 y las parcelas con cacao, con granos básicos y con pasto mejorado obtuvieron la categoría 3 (Figura 3.1). La parcela con el nivel más bajo de materia orgánica fue la de granos básicos, que puede estar favorecido por la aplicación intensiva de agroquímicos sintéticos por el productor. La parcela de pasto mejorado es afectada por la poca profundidad del suelo (34 cm, Cuadro 3.1) y la pendiente, que facilita la erosión hídrica, por lo que urge implementar obras de conservación de suelo y agua, y de drenaje de las aguas pluviales.

En el agroecosistema El Recuerdo, los valores de pH en las parcelas (Cuadro 3.1), variaron entre muy ácido y ligeramente ácido (5.20 a 6.11). Los valores más altos de pH correspondieron a las parcelas con cacao y con granos básicos (6.11 y 6.09). El 50% de las áreas de este agroecosistema alcanzaron categoría tres (Figura 3.2), que indica que este factor puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, y se evidencia en los valores de contenidos de fósforo, ya que todas las parcelas presentan alta deficiencia de este elemento (Cuadro 3.1 y 3.2). También, se pudo notar que los contenidos de potasio (K) disponible variaron entre 0.07 y 0.28 meq en 100 g de suelo, valores más bajos que en el agroecosistema anterior, siendo estos valores indicadores de baja disponibilidad de este nutrimento. La única parcela con valor adecuado de potasio fue precisamente la parcela con cacao, que presentó el pH más alto.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) están acordes a los valores de pH encontrados, sin embargo, los valores de estos elementos son 57% más bajos que en el agroecosistema anterior. La relación intercатиónica entre estos elementos es adecuada (Intervalo adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercатиónicas de estos elementos en relación con el potasio se encuentra fuera de los rangos ideales, indicando que por los altos valores de Ca y Mg y por los extremadamente bajos valores de K, las deficiencias de estos elementos serían inevitables. Nótese en el mismo cuadro, que en este agroecosistema fue donde se alcanzaron los valores más altos en la relación Ca/K (entre 65.6 a 199), ocasionada probablemente por una alta lixiviación de potasio. En el Cuadro 3.2 se presentan las cantidades de los nutrimentos del que las plantas pueden disponer en cada parcela.

En este agroecosistema, los contenidos de materia orgánica (MO) alcanzaron las categorías 2 y 3 (Figura 3.2), que representan contenidos de bajo a medio. Las categorías más altas correspondieron a las parcelas con pasto natural y pasto mejorado, y se debe a que estas parcelas reciben constantemente adiciones de estiércol por los animales que a diario permanecen en ella en actividad de pastoreo. La parcela con cacao presentó la categoría más baja de MO, a pesar de ser un cultivo perenne, solamente tiene 5 años de estar establecido. En este sentido debe considerarse que en suelos tropicales “las tasas de adición de materia orgánica fresca son de dos a tres veces más en bosques tropicales que en bosques templados (...), pero las tasas de descomposición son mayores en las zonas tropicales” (Sánchez, 1981, pág. 175).

Otra categoría baja de MO pertenece a la parcela con granos básicos, que se atribuye a la aplicación de agroquímicos para controlar las arvenses y a la exposición de los restos vegetales a factores climáticos de la zona, principalmente, la temperatura, las precipitaciones y a la humedad relativa.

Las parcelas con pasto son las que tienen los pH más bajos, siendo la de pasto natural (pH 5.2) la que podría requerir de la aplicación de 2.87 t ha^{-1} de cal, si se utiliza como criterio de aplicación la saturación de bases y 1.67 t ha^{-1} , si los contenidos de aluminio son iguales a 1.0 meq en 100 g de suelo y se utiliza material con un poder relativo de neutralización (PRNT) de 85%. Su uso de cualquier manera deberá ser cuidadoso y no llevar a valores más altos las relaciones inter catiónicas del calcio con el potasio.

En el agroecosistema Los Mangos, los valores de pH (Cuadro 3.1) variaron entre ligeramente ácido (6.1) y ligeramente alcalino (7.14). Tres de las cuatro parcelas alcanzaron la categoría 5 y una categoría 4 (Figura 3.3), estos valores de pH los hace aptos para la mayoría de los cultivos. Puede notarse también, que, en todas las parcelas, los contenidos de fósforo son muy pobres, por lo que la aplicación de este nutrimento es de suma importancia para los cultivos (Cuadro 3.1 y 3.2). También, los análisis de suelo mostraron que las parcelas con pasto mejorado y con pasto natural, presentan contenidos pobres de potasio (K), por lo que una deficiencia de este nutrimento, en los cultivos, en estas parcelas, es altamente probable. Así mismo, en las parcelas con granos básicos y cacao, que, aunque presentan contenidos un poco más altos, estos valores se encuentran en el límite inferior de suficiencia, por lo que las aplicaciones de este elemento tendrían una alta probabilidad de respuesta de la mayoría de los cultivos. Las cantidades de nutrientes disponibles en este agroecosistema se muestran en el Cuadro 3.2.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) están acordes a los valores de pH encontrados, y su relación intercatiónica es adecuada (Intervalo adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos con el potasio se encuentra fuera de los rangos ideales, esto indica que, por los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K, existe una alta probabilidad de que se produzca una deficiencia más marcada de este elemento por los excesos de los otros. De las cuatro parcelas del agroecosistema, solo la parcela con granos básicos presentó un valor dentro del rango normal, (13.2), lo que se debió a los menores contenidos de magnesio que se presentan en este agroecosistema en comparación a los anteriores, quizás producto de la lixiviación de este, la que se puede ver favorecida por el tipo de cultivo que se establece en la parcela (granos básicos) y por las precipitaciones altas de la zona.

En este agroecosistema, los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos se corresponden con las condiciones de suelo, arcillas y el clima bajo el que estos se han formado. Eso explica porque las saturaciones de bases, en las parcelas se clasificaron

en las categorías 3 y 4 (Figura 3.3), lo que también evidencia que el proceso de pérdida de nutrientes por lixiviación, es proporcional a los contenidos de las bases de cambio. Fassbender & Bornemisza (1994) destacan que en condiciones tropicales “en la mayoría de los suelos cuyos minerales se caracterizan por ser de cargas variables al aumentar el pH lo hacen las cargas y así aumenta también la CIC del suelo” (p. 147). Además, señalan que “la determinación de un valor verdadero de CIC en estos suelos, es difícil sobre todo cuando la determinación se hace con un pH diferente a la del suelo, generando un exceso sobre la realidad”. Debe agregarse, además, que “la capacidad de cambio de la materia orgánica es altamente dependiente del pH del suelo” (Fassbender & Bornemisza, 1994, p. 150), lo que podría explicar los altos valores de CIC obtenidos en estos agroecosistemas. La materia orgánica (MO) alcanzó las categorías 3 y 4 (Figura 3.3), que son contenidos entre medio y alto. Es bastante lógico que el valor más alto de MO les haya correspondido a las parcelas con pastos y con granos básicos. Este último cultivo no es perenne, pero se le dejaban los rastrojos de cosecha y los de las chapeas. En la parcela con cacao, aunque este es un cultivo perenne, tiene solamente 3 años y medio años de estar establecido.

En el agroecosistema Los Reyes, los valores de pH (Cuadro 3.1 y Figura 3.4), variaron entre ácido y ligeramente alcalino (5.93 y 7.24). Eso indica que hay una variación en todos los suelos evaluados. Estas variaciones también se pueden observar en los contenidos de fósforo de las parcelas, correspondiéndose la parcela con pH más alto, a la de mayor contenido de fósforo. En términos de disponibilidad, debe decirse que la cantidad de fósforo, en ninguno de los suelos, es capaz de satisfacer las necesidades de este elemento a los cultivos, de modo que las aplicaciones de fósforo vía fertilizantes en estos suelos se vuelven más que necesarias.

Los valores de potasio disponible (K) oscilaron entre 0.20 y 0.51 meq en 100 g de suelo, que se corresponde con cantidades disponibles entre 187 y 477 kg de K ha⁻¹ (Cuadros 3.1 y 3.2), siendo estos valores indicadores de baja disponibilidad de este nutrimento en tres, de las cuatro parcelas evaluadas. La única parcela con el valor más alto de potasio fue precisamente la parcela con pasto natural (0.51 meq en 100 g de suelo), cuya disponibilidad satisface los requerimientos de cultivos con baja demanda de este elemento.

En este agroecosistema, la relación de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) está acorde a los valores de pH encontrados (Cuadro 3.1). Puede notarse que cuanto más alto es el pH mayor es la cantidad de estos elementos en el suelo. La relación intercatiónica entre estos elementos es adecuada (Rango adecuado 2 a 5). Solamente, las parcelas con pasto natural y bosque 2, los valores altos de calcio pueden provocar una muy probable deficiencia de magnesio. También, las relaciones intercatiónicas de estos elementos (Ca y Mg) con relación al potasio se encuentran fuera de los rangos ideales, que revela que por los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K podría presentarse deficiencia de este último en los cultivos.

Cuadro 3.1. Características físicas y químicas de las parcelas o lotes en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan (Gómez López, 2021, p. 42; Castro Guzmán, 2021, p.52)

Característica física		Características químicas							Total de	Relaciones intercatiónicas			Encalado
Parcela o lote	Prof. cm	MO %	pH H ₂ O	P ppm	K meq en 100 g de suelo	Ca	Mg	CIC	SB %	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	t ha ⁻¹
La Palma	Pasto natural	67	3.69	6.36	1.14	0.47	28.6	7.52	39.19	93.5	3.8	61.0	16.0
	Cacao	94	3.23	6.25	0.83	0.28	25.6	6.53	36.06	90.0	3.9	91.6	23.3
	Pasto mejorado	34	2.66	6.53	2.98	0.33	22.0	6.3	31.1	92.2	3.5	66.8	19.1
	Granos básicos	48	2.35	6.49	0.60	0.37	20.7	4.89	27.23	95.5	4.2	56.1	13.2
El Recuerdo	Granos básicos	66	2.04	6.09	0.78	0.09	17.29	6.94	32.02	75.9	2.5	192.1	77.1
	Pasto mejorado	86	2.13	5.75	0.12	0.07	13.93	5.4	36.43	53.2	2.6	199.0	77.1
	Pasto natural	69	2.54	5.20	0.24	0.18	11.8	5.17	30.73	55.8	2.3	65.6	28.7
	Cacao	50	1.33	6.11	0.06	0.28	11.96	4.24	25.76	63.9	2.8	42.7	15.1
Los Mangos	Granos básicos	27	3.2	6.1	0.0	0.2	10.26	2.63	24.66	53.1	3.9	51.3	13.2
	Cacao	46	3.04	7.14	3.89	0.25	21.61	7.14	28.89	100.4	3.0	86.4	28.6
	Pasto mejorado	39	2.93	6.51	2.69	0.08	21.9	7.57	33.49	88.2	2.9	273.8	94.6
	Pasto natural	99	3.31	6.16	0.48	0.03	20.42	8.69	37.54	77.6	2.3	680.7	289.7
Los Reyes	Cacao	42	3.59	5.93	0.96	0.3	7.88	6.76	18.77	79.6	1.17	26.27	22.53
	Bosque 1	30	3.9	6.21	0.60	0.23	9.49	6.96	21.16	78.8	1.36	41.26	30.26
	Pasto natural	51	2.87	5.98	1.32	0.51	19.30	6.10	26.13	99.2	3.16	37.84	11.96
	Bosque 2	50	4.52	7.24	4.36	0.20	39.53	11.33	36.62	139.4	3.49	197.65	56.65
Rango de valores ideales de las relaciones intercatiónicas										2 a 5	5 a 25	3.5 a 15	No necesario
Prof.: profundidad													

*: Criterio de aplicación es la saturación de bases

**: Contenido de Al son iguales a 1.0 meq en 100 g de suelo

PRNT: 85%

De las cuatro parcelas evaluadas, la de pasto natural es la única donde la probabilidad de deficiencia de K por exceso de Mg no se presenta, pero la provocada por exceso de Ca es inevitable. Por tanto, el uso de estos elementos (Ca y Mg) en estos suelos debe ser de uso restringido y muy cuidadoso.

La deficiencia de potasio es una tarea por resolver, ya que las parcelas donde se presenta este problema son las parcelas destinadas a la producción de cacao y el potasio es necesario para garantizar la calidad de las almendras. El Cuadro 3.2 presenta la disponibilidad de los nutrientes en las parcelas de este agroecosistema.

Cuadro 3.2. Disponibilidad de nutrientes (kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan (Gómez López, 2021, p. 43; Castro Guzmán, 2021, p.53)

Agroecosistemas	Parcela	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
		(kg ha ⁻¹)				
La Palma	Pasto natural	73.8	5.2	439.9	2,992.40	16,004.60
	Cacao	64.6	3.8	262.1	2,598.40	14,325.80
	Pasto mejorado	53.2	13.6	308.9	2,506.90	12,311.20
	Granos básicos	47	2.7	346.3	1,945.80	11,583.70
El Recuerdo	Granos básicos	40.8	3.6	84.2	2,761.60	9,675.50
	Pasto mejorado	42.6	0.5	65.5	2,148.80	7,795.20
	Pasto natural	50.8	1.1	168.5	2,057.20	6,603.30
	Cacao	26.6	0.3	262.1	1,687.20	6,692.80
Los Mangos	Granos básicos	64	-	187.2	1,046.50	5,741.50
	Cacao	60.8	17.8	234	2,841.10	12,093.00
	Pasto mejorado	58.6	12.3	74.9	3,012.30	12,255.20
	Pasto natural	66.2	2.2	28.1	3,457.90	11,427.00
Los Reyes	Cacao	71.8	4.4	280.8	2,689.90	4,409.60
	Bosque I	78	2.7	215.3	2,769.50	5,310.60
	Pasto natural	57.4	6	477.4	2,427.30	10,800.30
	Bosque 2	90.4	20	187.2	4,508.40	22,121.00

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la saturación de bases están acordes a las condiciones de pH de los suelos, las condiciones climáticas y al tipo de mineral que normalmente predomina en esos tipos de suelo (Tipo 1:1 y óxidos). Puede observarse (Cuadro 3.1) que estos dos parámetros (CIC y pH) son mayores en la parcela donde se determinó la mayor cantidad de materia orgánica y esta última puede estar influyendo en el valor alto de la CIC y la mayor saturación de bases en la parcela.

En la evaluación del agroecosistema El Mono, los valores de pH variaron entre ácido y ligeramente ácido (5.11 y 6.38, Cuadro 3.3). El 90 % de las áreas de este agroecosistema alcanzaron categoría tres (Figura 3.5), lo que indica que este factor puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes. También, se observa que el 50% de las parcelas o

lotes, presentan pH que requieren la realización de prácticas de encalado, ya que para esos valores existe alta probabilidad de presentar toxicidad por hierro y aluminio. De acuerdo a los valores de pH y la saturación de bases (pH menores a 5.4), las cantidades de cal a aplicar en los suelos variarían entre 3.6 y 6.0 t ha⁻¹. Suelos tropicales con pH mayores a 5.4 no requieren ser encalados ya que “el aluminio se encuentra fijo en la partícula de arcilla y no amenaza el crecimiento de la planta” (Espinoza, 1999, p.19).

En relación con los contenidos de fósforo, se evidencia que todas las parcelas son extremadamente pobres de este elemento, que se debe al efecto ácido de los suelos y a la alta disponibilidad de elementos que acomplejan al fósforo y lo indisponen para los cultivos.

También, se puede notar que los contenidos de potasio (K) disponible variaron entre 0.08 y 0.68 meq en 100 g de suelo (Cuadro 3.3), siendo estos valores indicadores de baja concentración de este nutrimento. La baja cantidad y disponibilidad puede estar condicionada por las altas precipitaciones en la zona, que ocasiona una alta lixiviación de este elemento y favorecido por la pendiente y la falta de obras de conservación de suelos. La única parcela o lote con valor adecuado de potasio, fue precisamente la parcela con bosque que presentó el pH más alto.

Referente a las bases calcio (Ca), magnesio (Mg), los contenidos están acordes a los valores de pH encontrados, la relación intercatiónica entre estos elementos es adecuada (valor adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos en relación al potasio se encuentran fuera de los rangos ideales, que es el resultado de los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K. De este resultado se deduce que existe una alta probabilidad que los cultivos presenten deficiencias de potasio, lo que hace necesario la aplicación de este elemento.

Respecto a los contenidos de materia orgánica (MO), estos se categorizaron entre 3 y 5 (Figura 3.5), que se consideran de medios a altos. Es bastante lógico que el valor más alto le haya correspondido a la parcela o lote con Bosque (20 años), los otros dos valores altos correspondieron a las parcelas con cítricos (11 años) y la parcela con Retana 4, que, aunque este último no es un cultivo perenne, esta parcela anteriormente estaba en barbecho, pero además esta área recibe constantemente adiciones de estiércol por su cercanía al corral, donde permanecen los animales. Para el caso de la parcela con cacao, aunque este es un cultivo perenne, tiene solamente 4 años de establecido y anteriormente se utilizaba como área agrícola (maíz y frijol), lo que podría explicar los bajos contenidos de materia orgánica en la parcela.

En relación a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los valores de los suelos de las parcelas se corresponden con las condiciones de suelo y el clima bajo el que se han formado. Estas se clasificaron dentro de las categorías (2 a 3) de baja a media (Figura 3.5). Este agroecosistema junto con el de Los Reyes, son los que presentaron menor valor de CIC y menores cantidades de Ca, Mg y K, aunque en El Mono los contenidos porcentuales de Mg y K respecto a la CIC, fueron menores que en Los Reyes. Eso explica también porque las saturaciones de bases en la mayoría de las parcelas se clasificarán en categoría 4, lo que también evidencia que el proceso de pérdida de nutrientes por lixiviación es proporcional a los contenidos de cada elemento.

Los resultados para el agroecosistema Jardín del Edén, mostraron que los valores de pH, en los lotes o parcelas evaluadas (Cuadro 3.4), variaron entre muy ácido y ligeramente ácido (5.01 a 6.25). Los valores más altos correspondieron a las parcelas donde prácticamente no existe ninguna intervención y son utilizadas como áreas de reserva. El 45 % del área de este agroecosistema alcanzó la categoría tres (Figura 3.6) y cuyos pH varían entre 5.3 y 5.9, de estas áreas, en el 90% se podrían presentar efectos tóxicos por hierro y aluminio y requerirían por lo tanto de la práctica del encalado.

Los contenidos de fósforo son pobres para todas las parcelas (Cuadro 3.4), por lo que son altamente deficientes de este elemento, las aplicaciones de este nutriente tendrían que ser no solo elevadas, sino también de fertilizantes de baja solubilidad para disminuir (por efecto de pH) la posibilidad que el fósforo sea acomplejado o precipitado por otros elementos que predominan en esos suelos, o por efecto del tipo de arcilla. También, se puede notar (en el mismo cuadro) que los contenidos de potasio (K) disponibles variaron de bajo a medios, entre 0.12 y 0.75 meq en 100 g de suelo, las parcelas (4) con valores menores de 0.2 meq en 100 g suelo son deficitarias de potasio (menos de 187 kg de K_2O ha⁻¹ disponible, cuadro 3.5), las restantes parcelas (7) contienen disponible entre 215 y 700 kg de K_2O ha⁻¹), lo que es suficiente para cultivos no muy exigentes a este elemento. La única parcela con valor más alto de potasio fue precisamente la parcela Reserva 2 que presentó el pH más alto.

Respecto a la CIC, los valores variaron entre 8.28 y 20.61 meq en 100 g de suelo, estos valores se corresponden con las características de los suelos en estudio. Los valores bajos de CIC muestran su efecto sobre los bajos contenidos de calcio y magnesio intercambiables y más evidentes sobre los muy bajos contenidos de potasio. En relación con las bases calcio (Ca), magnesio (Mg), los contenidos están acordes a los valores de pH encontrados, la relación intercatiónica entre estos elementos se encuentran en el rango adecuado (entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos respecto al potasio muestran que en el 36% de las parcelas los valores de la relación Ca/K se encuentra fuera de los rangos ideales, indicando que, por los altos valores de Ca y los bajos de K se produce un antagonismo que provocara una deficiencia en la absorción de potasio por la planta.

Cuadro 3.3. Características químicas de los lotes o parcelas del agroecosistema El Mono, La Azucena, San Carlos, Río San Juan (Mendoza, 2020, p. 42)

Característica física		Características químicas									
Lote o parcela	Profundidad cm	MO (%)	pH H ₂ O	P (ppm)	K meq por 100 g de suelo	Ca	Mg	CIC	Relaciones intercatiónicas:		SB
									Ca/Mg	Ca/K	Mg/K (%)
Bosque	10	6.12	6.38	0.36	0.68	5.18	16.61	22.26	3.2	24.4	7.6 100.9
Retana 1	100	2.97	5.67	0.77	0.08	3.34	15.35	19.69	4.6	191.9	41.8 95.3
Retana 2	100	2.92	5.28	1.62	0.16	2.94	8.16	17.11	2.8	51	18.4 65.8
Retana 3	100	2.25	5.11	1.14	0.13	2.06	6.63	16.38	3.2	51	15.8 53.8
Cítrico	100	4.98	5.27	0.48	0.16	2.09	6.07	13.43	2.9	37.9	13.1 62
Retana 4	100	5.39	5.74	0.42	0.22	2.29	8.06	14.9	3.5	36.6	10.4 70.9
Caña de azúcar	100	3.64	5.4	0.71	0.25	2.35	8.6	27.97	3.7	34.4	9.4 40
Retana 5	150	3.54	5.22	0.83	0.11	2.52	6.07	15.82	2.4	55.2	22.9 55
Área Agrícola	90	3.38	5.54	0.48	0.21	2.29	8.52	16.01	3.7	40.6	10.9 68.8
Cacao	100	2.82	5.52	0.36	0.17	3.57	9.02	16.19	2.5	53.1	21 78.8
Rango de valores ideales de las relaciones intercatiónicas 2 a 5 5 a 25 3.5 a 15											

Cuadro 3.4. Características químicas de los lotes o parcelas del Agroecosistema Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan (Mendoza, 2020, p. 48)

Lote o parcela	Característica física		Características químicas									
	Profundidad cm	MO (%)	pH H ₂ O	P (ppm)	K meq por 100 g de suelo	Ca meq por 100 g de suelo	Mg	CIC	Relaciones Intercatiónicas			SB (%)
									Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
Bosque	10	3.15	5.92	0.6	0.48	2.3	8.28	13.25	3.6	17.3	4.8	83.5
Bambú	70	2.83	5.79	0.54	0.33	1.91	8.46	13.43	4.4	25.6	5.8	79.7
Retana 1	65	3.63	5.69	0.66	0.33	1.45	6.23	11.22	4.3	18.9	4.4	71.4
Cacao 1	70	3.04	5.83	1.27	0.18	2.93	11.91	15.54	4.1	66.2	16.3	96.7
Retana 2	100	4.64	5.73	1.09	0.12	2.53	5.29	14.17	2.1	44.1	21.1	56
Cítrico	150	3.41	5.01	0.18	0.17	1.58	4.93	11.04	3.1	29	9.3	60.5
Cacao 2	100	3.31	5.45	0.36	0.15	2.11	4.63	14.17	2.2	30.9	14.1	48.6
Retana 3	75	4.96	5.51	0.54	0.4	2.17	4.81	15.46	2.2	12	5.4	47.7
Taiwán	100	3.57	5.44	0.24	0.23	1.68	4.77	8.28	2.8	20.7	7.3	80.7
Reserva 1	60	4.11	5.95	0.42	0.35	4.21	13.15	20.61	3.1	37.6	12	85.9
Reserva 2	70	2.93	6.25	0.12	0.75	2.3	9.44	15.46	4.1	12.6	3.1	80.8
Rango de valores ideales de las relaciones intercations										2 a 5	5 a 25	3.5 a 15

Cuadro 3.5. Disponibilidad de nutrientes (kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, La Azucena, San Carlos, Río San Juan

Agroecosistema	Parcela	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
		Kilogramos ha^{-1} *				
El Mono	Bosque	122.4	1.6	636.5	2061.6	9301.6
	Retana 1	59.4	3.5	74.9	1329.3	8596
	Retana 2	58.4	7.4	149.8	1170.1	4569.6
	Retana 3	45	5.2	121.7	819.9	3712.8
	Cítrico	99.6	2.2	149.8	831.8	3399.2
	Retana 4	107.8	1.9	205.9	911.4	4513.6
	Caña de azúcar	72.8	3.3	234	935.3	4816
	Retana 5	70.8	3.8	103	1003	3399.2
	Área Agrícola	67.6	2.2	196.6	911.4	4771.2
	Cacao	56.4	1.6	159.1	1420.9	5051.2
Jardín del Edén	Bosque	63	2.7	449.3	915.4	4636.8
	Bambú	56.6	2.5	308.9	760.2	4737.6
	Retana 1	72.6	3	308.9	577.1	3488.8
	Cacao 1	60.8	5.8	168.5	1166.1	6669.6
	Retana 2	92.8	5	112.3	1006.9	2962.4
	Cítrico	68.2	0.8	159.1	628.8	2760.8
	Cacao 2	66.2	1.6	140.4	839.8	2592.8
	Retana 3	99.2	2.5	374.4	863.7	2693.6
	Taiwán	71.4	1.1	215.3	668.6	2671.2
	Reserva 1	82.2	1.9	327.6	1675.6	7364
	Reserva 2	58.6	0.5	702	915.4	5286.4

*. Considerando una profundidad de 20 cm y una densidad aparente de 1 g cm^{-3}

Al analizar la relación Mg/K se encontró que en el 73% de las parcelas se podría presentar deficiencias de K por exceso de Mg. Este desbalance en las relaciones intercatiónicas es favorecido por las altas precipitaciones de la zona que aumentan la lixiviación del potasio.

Respecto a los contenidos de materia orgánica (MO), estos se categorizaron entre 4 y 5, con contenidos entre medio y alto (Figura 3.6). El valor más alto corresponde a la parcela de pasto de Retana 3 con 4.9% de MO, los otros dos valores altos correspondieron a las parcelas con Retana 2 y Reserva 1 (Bosque de 15 años) con 4.6 y 4.1% respectivamente. Para el caso de la parcela con bambú, aunque es un cultivo perenne, este tiene solamente 2 años de estar establecido y anteriormente se utilizaba como área agrícola (Maíz y frijol), que pudo haber contribuido a que el nivel de MO sea bajo.

3.3. Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas

El suelo alberga la cuarta parte de la diversidad biológica del planeta. Hay literalmente miles de millones de microorganismos, tales como bacterias, hongos y protozoos en el suelo. Los indicadores biológicos propuestos por Bautista Cruz *et al.* (2004) “integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos” (p. 6). El único indicador biológico que se consideró en este estudio es la abundancia por metro cuadrado de lombrices de tierra, que se categorizó basado en el Cuadro 1.9.

Las razones por la que se consideró la abundancia de las lombrices de tierra por metro cuadrado como único indicador biológico en este acápite, consisten en que estas constituyen uno de los organismos más importantes del suelo, especialmente en ecosistemas productivos, debido a su influencia en la composición de materia orgánica, en las relaciones simbióticas de los microorganismos edáficos, en el desarrollo de la estructura del suelo y en el ciclo de nutrientes, así como ingenieros del suelo. Por consiguiente, ellas al jugar un rol fundamental en la biodiversidad asociada del agroecosistema contribuyen positivamente a los servicios ecosistémicos de soporte o poyo para optimizar el desempeño de los agroecosistemas, de modo que estos garanticen los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para el bienestar de las familias campesinas y de la sociedad.

Lavelle *et al.* (2006), plantean que las lombrices de tierra consumen grandes cantidades de suelo para sus necesidades fisiológicas: alimentos para la energía, requisitos de nutrientes, cría, etc. La cantidad de suelo anual consumido puede alcanzar, el equivalente de 8 cm a 10 cm de espesor de tierra (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020, p. 64).

Las poblaciones de las lombrices de tierra pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas Soil Quality Institute (SQI, 1999, párr. 2). Se consideran poblaciones de lombrices de tierra adecuadas, cuando los agroecosistemas poseen más de 100 individuos m^{-2} (SQI, 1999, párr. 9). Estas altas poblaciones por lo general aumentan la actividad microbiológica del suelo y mejoran su fertilidad química y las características físicas de este. Este resultado debe considerarse en el plan de gestión para la reconversión agroecológica de todo agroecosistema, que deben incluir a los miembros de la familia campesina y de la comunidad.

La Figura 3.1 muestra los resultados de la categorización de la presencia de lombrices de tierra por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema La Palma. Según los resultados, todas las parcelas alcanzaron la mayor categoría (5), que indica que se contabilizaron más de 99 lombrices por metro cuadrado, que es lo idóneo (SQI, 1999, párr. último). No obstante, las parcelas con pasto mejorado y granos básicos obtuvieron entre 8 y 10 % más lombrices en comparación a las otras dos parcelas. Este comportamiento se vio favorecido probablemente por los mayores contenidos de materia orgánica en esas parcelas y la mayor profundidad de estas.

En la Figura 3.2 se reflejan los resultados para el agroecosistema El Recuerdo. Estos mostraron que la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela, lograron la mayor categoría (5), que significa que se contabilizaron más de 99 lombrices por metro cuadrado. No obstante, las parcelas con granos básicos y pasto mejorado obtuvieron entre 21 y 13% más lombrices en comparación a las otras dos parcelas, respectivamente. También, este comportamiento se vio favorecido, probablemente por los mayores contenidos de materia orgánica y la profundidad en estas parcelas.

Cuando se evaluó la presencia de lombrices en el agroecosistema Los Mangos (Figura 3.3) los resultados mostraron que la presencia de lombrices por metro cuadrado alcanzó la categoría 2, en todas las parcelas. La cantidad de individuos por metro cuadrado varió entre 16 y 32, siendo estas las más bajas de todos los agroecosistemas evaluados. Es probable que esta baja cantidad de individuos esté influenciada por la poca profundidad y los contenidos medios de materia orgánica de los suelos de este agroecosistema.

En la Figura 3.4 se muestran los resultados de la categorización de la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema Los Reyes. La población de lombrices en este agroecosistema varió entre 33 y 64 lombrices m^{-2} , lo que desde el punto de vista de la calidad de los suelos es considerada baja. De acuerdo con esos valores, la categoría correspondiente es la 3. Igual que en el agroecosistema anterior, pudiera estar influyendo, la poca profundidad de los suelos y los relativamente bajos contenidos de materia orgánica.

Dentro de la estrategia de manejo de este agroecosistema, debe considerarse el uso de enmiendas orgánicas o incorporación de biomasa de cultivos o árboles para aumentar la materia orgánica de los suelos y con ello favorecer el incremento del número de lombrices por metro cuadrado. Puede notarse en la misma figura, que, aunque la materia orgánica alcanzó categorías entre 3 y 4, estos se clasifican de contenidos medios a bajos de materia orgánica.

Al evaluar el agroecosistema El Mono (Figura 3.5), las categorías alcanzadas por las poblaciones de lombrices de tierra, en los diferentes lotes son 2 y 3. La mayor categoría se alcanzó en las parcelas con Retana 1 y 4, cuyas poblaciones oscilaron entre 33 a 64 individuos m^{-2} . En las restantes parcelas, las lombrices de tierra oscilaron entre 16 y 32 individuos m^{-2} . En ambos agroecosistemas, las poblaciones de lombrices de tierra se consideran bajas, lo que puede estar influenciado por el pH ácido de los suelos, al bajo nivel de materia orgánica y la poca retención de humedad por los suelos. Las poblaciones de estas pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas (SQI, 1999, párr. 2).

Se considera poblaciones de lombrices de tierra adecuadas, cuando los agroecosistemas poseen más de 100 individuos m^{-2} . Estas altas poblaciones por lo general aumentan la actividad microbiana y mejoran la fertilidad química y las características físicas del suelo. Este resultado debe considerarse en el plan de reconversión de ambos agroecosistemas.

En la Figura 3.6 se muestran también las categorías alcanzadas por las poblaciones de lombrices de tierra, en los diferentes lotes del agroecosistema Jardín del Edén, que son 3 y 5. La mayor categoría se determinó en las parcelas Reserva 1 y Reserva 2, cuyas poblaciones superan los 100 individuos m^{-2} (135 y 118). Estas parcelas son áreas de reserva forestal del agroecosistema, en las que las poblaciones de lombrices son favorecidas para su sobrevivencia y reproducción. En las restantes parcelas, las poblaciones de lombrices de tierra oscilaron entre 37 y 46 individuos m^{-2} , que son consideradas bajas. Estos resultados deben considerarse en el plan de reconversión agroecológica para el manejo del suelo y agua.

3.4. Comparación de los indicadores de calidad de los suelos de los agroecosistemas

Al comparar los indicadores de calidad de los suelos que se categorizaron y que se representan en gráficas de araña o radiales en todos los agroecosistemas (Figura 3.7), se observó que cinco de los nueve evaluados obtuvieron la categoría 3 y suelos con una profundidad promedio entre 50 y 100 cm. El agroecosistema con menor profundidad promedio de sus suelos corresponde a Los Mangos con 50 cm. Se destacan como los agroecosistemas con suelos más profundos El Mono y Jardín del Edén con 95 y 80 cm respectivamente. La textura del suelo varía entre arcillosa y franco arcilloso.

El agroecosistema Los Reyes adquirió la mejor categoría (5) de este indicador, y tres de los cuatro restantes alcanzaron la categoría uno (1), que se corresponde a suelos arcillosos. Estos agroecosistemas con suelos arcillosos, también presentaron alta porosidad y baja capacidad de infiltración, alcanzando las mismas categorías (4 y 2), respectivamente. Los agroecosistemas que alcanzaron texturas de franca a franca arenosa, también presentaron una buena porosidad y una adecuada infiltración, logrando la categoría 4, que son Los Mangos y Los Reyes.

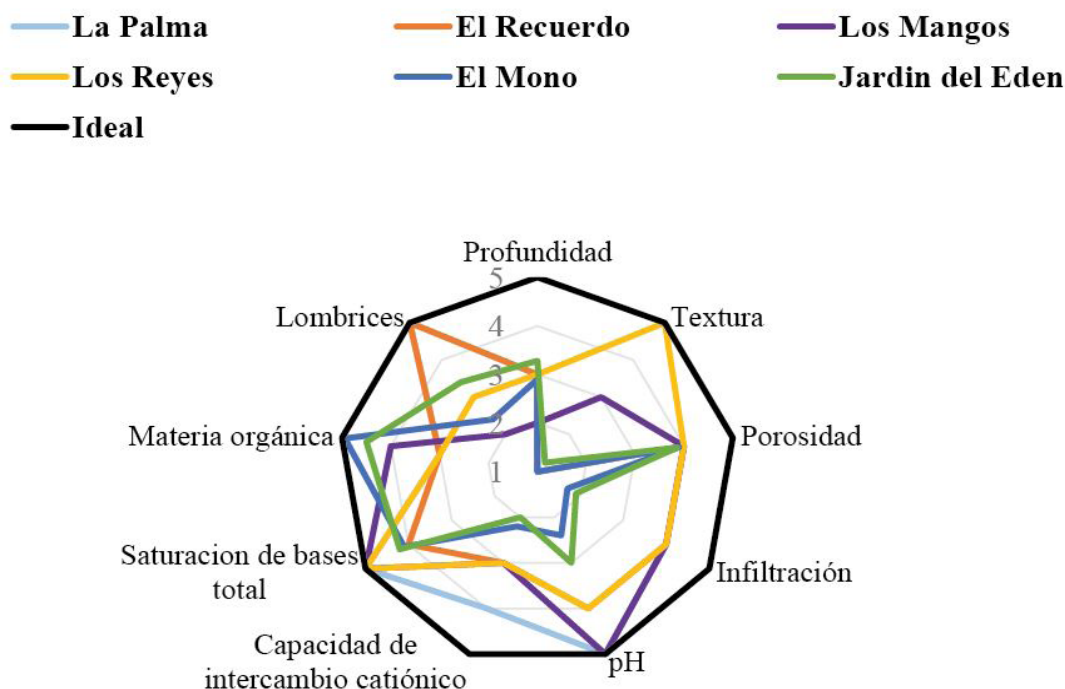


Figura 3.7. Comparación de las categorías de los indicadores físicos, químicos y biológico en seis agroecosistemas, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Gómez López, 2021, p. 44; Castro Guzmán, 2021, p.53; Mendoza, 2020, p. 51).

Es importante señalar, que en cuatro de los agroecosistemas donde se cultiva cacao, la profundidad de las parcelas varía entre 42 y 94 cm, la que se convierte en una limitante para que la raíz pivotante del cacao penetre lo suficiente y ofrezca no solo un buen anclaje al cultivo (Cuadro 3.1), si no para el desarrollo pleno de su raíz pivotante.

En base a estos resultados, el cacao debe ser suprimido de estas parcelas y sustituirlo por otro cultivo, cuyo sistema radicular se desarrolle bien a estas profundidades de suelo. El comportamiento de los parámetros químicos como pH, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, es muy similar para los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén y solo variaron ligeramente en los niveles de materia orgánica y el número de lombrices por m².

El agroecosistema cuyos parámetros evaluados alcanzaron categorías altas en la mayoría de ellos fue Los Reyes, cuyo parámetro más limitante es la materia orgánica y por supuesto eso repercute en la poca presencia de lombrices por m².

Desde el punto de vista químico, los valores promedios de pH por agroecosistema variaron entre 5.51 y 6.48 (Cuadro 3.6), en los cuales se pueden adaptar una gran variedad de cultivos. Los valores más bajos correspondieron a los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén. Con relación al contenido de fósforo (Cuadro 3.6), todos los agroecosistemas son extremadamente pobres en este elemento, por lo que se requiere no solo de altas aplicaciones de este nutrimento, sino que debe ser acompañada de bajas aplicaciones de cal para precipitar elementos que puedan acomplejar al fósforo y aumentar las disponibilidades de calcio. Estos dos agroecosistemas son precisamente los que menos contenidos de calcio y magnesio presentan, no así los contenidos de potasio, que a pesar de ser bajo en todos los agroecosistemas, en estos dos los valores son mayores que en el resto.

Los bajos valores de pH, la capacidad de intercambio de cationes y un porcentaje medio de saturación de bases sugieren la posibilidad del encalado de los suelos. En este caso, la práctica se vuelve necesaria en esos agroecosistemas solo, si las cantidades de aluminio (Al⁺³) presente llegaran a provocar toxicidad en el cultivo, y con esa información (%SBT y Al) y las de las relaciones intercatiónicas, se puede seleccionar la fuente más apropiada de cal [Cal agrícola pura o carbonato de calcio (CaCO₃), cal viva u óxido de calcio (CaO), cal muerta o hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), silicato de calcio o cal dolomítica (CaCO₃ * MgCO₃)] y calcular la dosis más ajustada de cal. Si se toma la decisión de encalar, el PRNT (Poder Relativo de Neutralización Total) de los materiales calcáreos descritos no debe ser inferior a 85%. Con el encalado se regula el pH del suelo, se favorece la disponibilidad de Ca, Mg, K y P y se reduce la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al, Fe y Mn (Pohlen & Salazar Centeno, 2020, p. 80-89). La labor de encalado debe realizarse al inicio de la época lluviosa y tres o cuatro semanas posteriores, se aplica el primer abonamiento edáfico.

Los valores más altos de las relaciones intercatiónicas Ca/K y Mg/K corresponden a los agroecosistemas antes mencionados, esto significa que en estos agroecosistemas la deficiencia de potasio será más marcada, de modo que para evitarlas se necesitan altas aplicaciones de este elemento. Tampoco significa que los otros dos agroecosistemas estén bien, en relación con esos parámetros, pero la necesidad de potasio a aplicar en estos agroecosistemas será menor.

Los contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) se consideran adecuados y se corresponden con la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y la saturación de las bases. La disponibilidad de estos elementos es suficiente, hasta para los cultivos más exigentes.

Cuadro 3.6. Valores promedios de las características químicas de los cuatro agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan

Agroecosistemas	MO (%)	pH	P	K	Mg	Ca	CIC	%SB	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
		H ₂ O	(ppm)	(meq por 100 g de suelo)							
La Palma	2.98	6.41	1.39	0.36	6.31	24.23	33.4	92.8	3.85	68.88	17.9
El Recuerdo	2.01	5.79	0.3	0.16	5.44	13.75	31.24	62.25	2.55	124.85	49.5
Los Mangos	3.12	6.48	1.77	0.14	6.51	18.55	31.15	79.83	3.03	273.05	106.53
Los Reyes	3.72	6.34	1.81	0.31	7.79	19.05	25.67	99.26	2.3	75.76	30.35
Los Monos	3.8	5.51	0.72	0.22	2.86	9.31	17.98	69.13	3.25	57.6	17.13
Jardín del Edén	3.6	5.69	0.55	0.32	2.29	7.45	13.88	71.95	3.27	28.63	9.42
Rango de valores ideales de las relaciones intercatiónicas									2-5	5-25	3.5-15

Solo en los agroecosistemas El Recuerdo y Jardín del Edén se alcanzaron las poblaciones más altas de lombrices por metro cuadrado (Figura 3.7), cuyas categorías son 5 y 3, respectivamente. En el primer agroecosistema, las poblaciones de lombrices de tierra superaron los 100 individuos por metro cuadrado, mientras que, en el segundo, estas alcanzaron 64 individuos por metro cuadrado.

Para evaluar la calidad del suelo, “es necesario definir factores químicos, físicos y biológicos para identificar diferentes escenarios de gestión y medioambientales,” (De la Rosa & Sobral, 2008, p.168). Esto es importante metodológicamente, ya que “la evaluación agroecológica del suelo predice el comportamiento de este para cada uso particular, y la calidad del suelo predice la capacidad natural de cada suelo para funcionar”.

Cuantificar las relaciones críticas, relacionándolas con estrategias de gestión alternativas, y definir las compensaciones entre todos los factores son ejemplos de cómo se podrían utilizar las evaluaciones de la calidad del suelo. A pesar de que la calidad del suelo no se puede medir directamente, sirve como un concepto general para examinar e integrar relaciones y funciones entre varios componentes biológicos, químicos, y parámetros físicos que son medidos e importantes para sistemas agrícolas y medioambientales sostenibles (Karlen *et al.*, 1997, p. 8).

Los agroecosistemas evaluados mostraron que la profundidad de los suelos es una de principales limitantes físicas que tienen, ante este hecho, varios de los agroecosistemas evaluados tienen establecidos cultivos de cacao y bosques que demandan mayores profundidades. La reconversión agroecológica de estos debe pasar por una evaluación de la profundidad de las áreas que lo componen y hacer una redefinición de los cultivos de acuerdo a sus necesidades de profundidad. La velocidad de elongación de raíces, “se reduce a medida que deben ejercer altas presiones o fuerzas para poder penetrar a los poros. Por

lo tanto, la existencia de un número suficiente de poros con continuidad adecuada es importante para un buen desarrollo del genotipo vegetal” (Bonadeo *et al.*, 2017, p. 88).

Una segunda característica de los agroecosistemas es que sus contenidos de materia orgánica son de medios a altos, esta última al parecer no muestra su potencial efecto sobre los agroecosistemas. La materia orgánica juega un papel central en el “mantenimiento de muchas funciones claves del suelo y es un determinante importante de la resistencia del suelo a la erosión y la fertilidad subyacente del suelo (Lal, 2002)”, (Citado por Blum, 2013, p. 8).

Si bien, el no prolongado encharcamiento de los suelos pudiera ser facilitado por la presencia de materia orgánica al mejorar la infiltración, las altas porosidades se corresponden con la textura arcillosa de los suelos y la condición de pH ácido de los suelos, no estén permitiendo una mineralización eficiente de la materia orgánica, la formación de humus y su efecto sobre la CIC del suelo. Ante esta situación, la incorporación de materiales orgánicos con suficiente cal y reforzados con microorganismos de montaña, podrán promover y activar la flora microbiana mineralizadora de la materia orgánica, así como la promoción de mayor presencia de lombrices por metro cuadrado, se pueden incluir además las técnicas de pastizales permanentes, cultivos de cobertura, mulch y abonos verdes con leguminosas, estiércol de corral y compostas reforzadas. Varias funciones físicas ecosistémicas del suelo como, “retención e infiltración de agua o suelo aireación, están directamente conectados con el estado biológico del sistema del suelo, como también los tipos de organismos y el suministro de nutrientes” (De la Rosa & Sobral, 2008, p. 177).

La condición de fertilidad de los suelos es muy baja, lo que se refleja en los pobres contenidos de fósforo en todos los agroecosistemas. El manejo de este nutriente debe ser cuidadoso ya que además de ser muy poco móvil en el suelo, el uso de fuentes muy solubles no sería efectivo ya que el pH ácido y el color rojo de los suelos (típico de suelos tropicales meteorizados) suponen una alta presencia de hierro libre provocando una alta precipitación de este elemento. Esto se corresponde con la baja CIC de los suelos, que, aunque las saturaciones de bases alcanzan valores altos, estos son proporcionales a su CIC. Los valores pobres de potasio y los bajos contenidos de calcio y magnesio así lo demuestran. A pesar de la reacción ácida de los suelos solamente en una parcela de las treinta y seis evaluadas en los seis agroecosistemas, mostró presencia de aluminio y se indicó las cantidades a aplicar como práctica de encalado.

Uno de los mayores problemas químicos de estos suelos, es que están altamente desbalanceados (Relaciones Ca/Mg/K), los que han sido provocados muy probablemente por las altas precipitaciones típicas de estas zonas, conduciendo a una alta lixiviación de calcio y magnesio, pero muy drástica en el caso del potasio. La mayoría de los cultivos, muy

probablemente satisfagan sus necesidades de calcio y magnesio (por la poca demanda de estos elementos), sin descartar que las aplicaciones de estos sean necesarias en algunos cultivos de más demanda, en este sentido debe cuidarse la relación Ca/K y Mg/K, ya que en todos los agroecosistemas es muy alta y se puede conducir a una deficiencia extrema de potasio.

3.5. Alternativas de gestión agroecológica de los suelos para promover bienes y servicios ecosistémicos

Para salir al paso a las dificultades o limitaciones descritas en los incisos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, hay un buen número de otros enfoques agrícolas, que se amigan con la gestión sostenible del suelo a fin de conservar, restaurar y mejorar la productividad de este recurso natural no renovable; y fomentar los servicios ecosistémicos que acontecen en este.

Entre estas alternativas se pueden mencionar: “la agroecología, la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la agricultura de labranza cero y la agrosilvicultura basada en sistemas agroforestales SAF”, (FAO, 2015, p. 2). En estas zonas de amortiguamiento y transición de la Reserva Biológica Indio Maíz, en cada agroecosistema, es recomendable combinar diferentes sistemas agroforestales, para que esta cumpla con sus tres funciones: 1) Conservación (De los paisajes, los ecosistemas, las especies y la variación genética), 2) Desarrollo (económico, humano y sostenible desde los puntos de vista sociocultural y ecológico) y 3) Apoyo logístico a proyectos de demostración, de educación y capacitación sobre el medio ambiente y de investigación y observación permanente en relación con cuestiones locales, regionales, nacionales y mundiales de conservación y desarrollo sostenible (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales [MARENA], 2003, p. 10-14).

Los resultados obtenidos en los agroecosistemas evaluados, evidencian la degradación física, química y biológica que estos tienen, que se manifiesta en la poca profundidad de la mayoría de sus suelos, los niveles medios de materia orgánica, la predominancia de poca presencia de lombrices, los bajos contenidos de calcio, magnesio y potasio producto de la lixiviación, la baja capacidad de intercambio de cationes y el pH ácido de los mismos, y por consiguiente son las evidencias de tal degradación. Por tanto, las alternativas de gestión para fomentar los servicios ecosistémicos que ocurren en el suelo y mejorar su calidad en estos agroecosistemas, que se localizan en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, deben centrarse esfuerzos en:

1. Establecer obras de conservación de suelo como: a) curvas a nivel con barreras vivas con plantas nativas para controlar y evitar la erosión, b) zanjas de infiltración y establecimiento de coberturas vivas (sobre todo en las partes altas y en los suelos pocos profundos).

2. Zanjas de drenaje, sobre todo en las partes más bajas, para evitar el encharcamiento, la afectación de los cultivos y la disponibilidad de nutrientes.
3. Implementar estrategias para el rediseño de los agroecosistemas, de modo que a corto y mediano plazo, estos estén integrados con diseños y manejos de la biodiversidad complejos o altamente complejos acorde a las condiciones edafoclimáticas de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz.
4. Integrar en cada agroecosistema diferentes sistemas agroforestales (cercas vivas multiestratos internas y externas y cortinas rompevientos, Taungya, huerto casero mixto, cultivos en callejones, agrosilvoagrícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles) para fomentar los servicios ecosistémicos que acontecen a lo interno y externo del suelo.
5. Considerar las aplicaciones de dolomita, no como práctica de encalado, sino como proceso de mejoramiento de la disponibilidad de calcio y magnesio de forma balanceada, así como las aplicaciones de fertilizantes a base de potasio. En general se mejorará la disponibilidad de estos nutrientes, pero también se mejorará la estructura de los suelos, la porosidad y se creará un mejor ambiente para el desarrollo de la microbiología edáfica.
6. Establecer la biodiversidad vegetal productiva y auxiliar en suelos, cuya profundidad garantice un buen crecimiento y desarrollo del sistema radical de las plantas, para que a través de la absorción de nutrientes y de la fotosíntesis produzcan la mayor cantidad de fitomasa.
7. El programa de nutrición de la biodiversidad vegetal cultivada debe basarse en los principios de las 4R (¿qué fuente de abono se aplica?, ¿cuánto se fertiliza?, ¿cómo se fertiliza? y ¿dónde se fertiliza?) para evitar el deterioro químico de los suelos y que contribuya al balance de nutrientes en los suelos del agroecosistema.
8. Una estrategia general para la gestión de todos los agroecosistemas es que sus suelos estén dotados permanentemente de biomasa vegetal viva y/o muerta y materia orgánica, que se puede lograr mediante: a) uso de abonos orgánicos, b) uso de compostas, c) incorporación de rastrojos, d) rotaciones de cultivos, e) uso de abonos verdes y f) barbechos. Esto mejorará las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, pero además potenciará el efecto benéfico de las acciones descritas en los numerales anteriores, y por consiguiente se fomentan positivamente los servicios ecosistémicos que suceden en los suelos.
9. A mediano y largo plazo, la gestión agroecológica del suelo como recurso natural no renovable debe fundamentarse en el análisis e interpretación de sus indicadores físicos, químicos, biológicos y sus interacciones para coadyuvar positivamente a su conservación, mejora y restauración, así como a los servicios ecosistémicos que ocurren en los suelos.

Salazar Centeno *et al.* (2017) afirman que:

Para fomentar poblaciones altas de macrofauna edáfica y garantizar suelos más vivos, dinámicos y complejos es fundamental dotar al suelo, permanentemente, de materia orgánica muerta (mulch, hojarascas y restos de cosecha) o a través de abonos orgánicos sólidos, lo que contribuya al reciclado de los nutrientes y favorece el incremento de las poblaciones microbiológicas. Adicionalmente, se pueden asperjar abonos orgánicos líquidos a la materia orgánica muerta sobre la superficie del suelo para acelerar el proceso de descomposición y mineralización de esta. Es decir que en la estrategia de una adecuada conservación y rehabilitación del suelo se debe implementar, además de las obras de conservación de suelo y agua, así como los principios de las 4 R (qué fuente de abono?, cuánto fertilizo?, cómo fertilizo? y dónde fertilizo?), los principios de las 5 M, que consisten en: 1) dotar al suelo permanentemente con materia orgánica (M1), 2) aplicar abonos orgánicos enriquecidos con minerales de harina (M2) de roca, 3) fomentar la microbiología edáfica (M3) mediante abonos orgánicos líquidos y sólidos con microorganismos de montaña, 4) aplicar moléculas vivas (M4) a través de biofermentos y 5) cambio de mentalidad del campesino (M5) para fomentar el paradigma o modelo agroecológico. Este último principio es el de mayor complejidad y dificultad, debido a que se requiere de un cambio de actitud por parte de los campesinos, para garantizar la transición o el canje paulatino del paradigma de una producción agroalimentaria convencional, hacia una agroecológica. (p. 65)

Es oportuno señalar, que los suelos podrán contribuir a garantizar la seguridad alimentaria de las personas (Servicio ecosistémico de aprovisionamiento), en la medida en que se haga buen uso de ellos y que se neutralicen o se eviten los conflictos de uso. “Aunque lo dicho pareciera ser fácil de cumplir, en la realidad y dados los intereses de orden social, económico y ambiental, su consecución no es alcanzable” (Burbano, 2016, p. 122). Los conflictos de uso del suelo que ocurren cuando este se destina a propósitos diferentes a su vocación, deben ser identificados para solucionarlos y para evitar a futuro la degradación de los suelos. En la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz muchos suelos se están destinando para la extracción de minerales de forma artesanal, principalmente oro, que puede ocasionar degradación de los suelos y conflictos de uso. Adicionalmente, se está promoviendo la ganadería extensiva de doble propósito y la siembra de cultivos anuales (maíz, frijol y arroz) que puede ocasionar su degradación y pérdidas de este recurso natural no renovable y necesario para garantizar los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para las familias campesinas, la comunidad y la sociedad. Por consiguiente, hay que evitar la degradación y erosión de estos suelos, para lo cual es necesario consensuar y regular su uso mediante ordenanzas municipales, decretos y leyes.

Según Burbano (2016):

anualmente, se pierden en el mundo 75 billones de toneladas de suelo por acción de la erosión en sus diferentes manifestaciones y por efectos de la propia agricultura, sin embargo, también hay motivos para el optimismo porque crece el número de personas que están hablando de “seguridad del suelo”, con un significado similar a la seguridad alimentaria y a la del agua. (p. 123)

En Nicaragua, se reportó que 7.7 millones de hectáreas presentan “grados variables de erosión” (UNA, PASOLAC, & CIAT, 2005, p. 6). Por consiguiente, es fundamental, implementar estrategias de gestión de los suelos destinados a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento bajo los principios de la agroecología, para lo cual es fundamental que en el exterior e interior del suelo se promuevan constantemente los servicios ecosistémicos de apoyo o soporte y de regulación, y es *sine qua non* considerar el análisis e interpretación de sus indicadores de calidad físicos, químicos y biológicos.

Hay que tener conciencia de que no todos los suelos son iguales, aún en espacios pequeños, pueden existir variaciones de suelos o en las propiedades de estos, que se ha constatado en los agroecosistemas evaluados, que, aunque estos se ubican en la misma zona edafoclimática, sus variaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas difieren, aun bajo la misma condición de manejo. Estas variaciones extremas y a veces complejas, se convierten en una oportunidad y un desafío para los especialistas que estudian los suelos, los agroecólogos y los tomadores de decisiones, quienes deben aportar a la gestión sostenible del recurso suelo y por consiguiente a definir las técnicas, prácticas y estrategias más adaptadas a cada condición y conducir procesos de mejoramiento, recuperación y mantenimiento de la sostenibilidad y resiliencia de los agroecosistemas, de manera que el suelo como sistema vivo, dinámico y complejo sea gestionado bajo los principios de la agroecología, y que estos sean espacios para fomentar los servicios ecosistémicos que la agricultura requiere (regulación y soporte o apoyo) y que se garantice un uso sostenible de este recurso natural no renovable; y los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y culturales para el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Por último, señalar, que la simple representación del comportamiento de las categorías de los indicadores de calidad de los suelos de un agroecosistema en una gráfica de ameba o radial es una herramienta muy útil que permite identificar muy fácilmente los parámetros o indicadores más limitantes y a partir de ese conocimiento, y el de la disponibilidad de fósforo (P), potasio (K) y de las relaciones intercatiónicas (Ca/K, Mg/K y Ca/Mg), diseñar e implementar estrategias de gestión de los suelos del agroecosistema con principios de la agroecología para restaurarlos, mejorarlos y de esa manera contribuir a construir un sistema alimentario a nivel local, nacional, regional e internacional, que se fundamente en la equidad, la participación y la justicia social, que además de ser sostenible ayude también

a restablecer y a mejorar los servicios ecosistémicos que acontecen a lo interno y externo del suelo para el bienestar de la sociedad, en general, y en particular el de las familias campesinas o agricultoras.

Referencias

- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. [file:///C:/Users/Leonardo%20Garcia/Downloads/572-1080-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Leonardo%20Garcia/Downloads/572-1080-1-SM%20(1).pdf)
- Blum, W. E. (2013). Soil and land resources for agricultural production: General trends. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(3), 1-4. <https://core.ac.uk/download/pdf/82484124.pdf>
- Bonadeo, E., Moreno, I., & Bongiovanni, M. (2017). *El sistema suelo-planta. principios generales*. Río Cuarto, Argentina: UniRio. Universidad Nacional de Río Cuarto. <http://www.unirioeditora.com.ar/producto/funcionamiento-del-sistema-suelo-planta/>
- Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. *Annu Rev. Ecol. Sys* 26, 25-44. <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.es.26.110195.000325>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Castro Guzmán, J. N. (2021). Calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 80
- De la Rosa, D., & Sobral, R. (2008). Calidad del suelo y métodos para su evaluación. En A. K. Vlek (Ed.), *Uso de la tierra y recursos del suelo* (págs. 167-200). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6778-5_9
- Díaz Torres, K. R. (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria, 115. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/3870/1/tnf08d542e.pdf>
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil. En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (Vol. 35, pág. 225). Madison, Wisconsin, Estados Unidos. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2136/sssaspecpub35>
- Espinoza, J. (1999). *Acidez y encalado de los suelos* (Primera ed.). IPNI International Plant nutrition Institute.
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. (IICA, Ed.) San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://books.google.com.ni/books?id=SqlGvAwjApEC&printsec=frontcover&dq=quimica+de+suelos+con+enfasis+de+america+latina,+1987&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwixcyNrOTsAhWq1FkKHTgSB04Q6wEwAHoECAUQAQ#v=onepage&q=quimica%20de%20suelos%20con%20enfasis%20de%20america%20>

- García Centeno, L. J., Hodgson Lacayo, M. M., Martínez Guzmán, V. P., & Espinoza Rocha, J. D. (2017b). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua* (pág. 73). Managua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- García Centeno, L., Blandón Vivas, M. L., Blandón Vivas, W. A., Alemán Patterson, M. A., López Mairena, Y. O., García López, O., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017c). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna. *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- García Centeno, L. J., Suárez González, G. F., Gámez García, N. E., Mejía Ocampo, S. A., Urbina Ruíz, D. I., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017a). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua* (pág. 91). Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Gómez López, Á. R. (2021). Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 67
- Hünemeyer, J. A., De Camino, R., & Müller, S. (Octubre de 1997). Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. 157. https://books.google.com.ni/books?id=LCmjkuvf4AC&printsec=frontcover&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., & Schuman, R. G. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 4-10. <https://pdfs.semanticscholar.org/a0f7/fd8e56f86acd596aa86364b49610deb2550.pdf?ga=2.66291880.722522854.1604341505-1910373190.1604341505>
- Lavalle, P., España, A., Blouin, M., Brown, G., Decaëns, T., Grimaldi, M., Zangerlé, A. (2016). Ingenieros de ecosistemas en un suelo autoorganizado. Una revisión de conceptos y preguntas de investigación futuras. *Ciencias del Suelo*, 181(3/4), 91-109. https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2016/03000/Ecosystem_Engineers_in_a_Self_organized_Soil_A.2.aspx
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., ... Rossic, J. P. (Octubre de 2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, S3-S15. https://www.researchgate.net/publication/288880352_Soil_invertebrates_as_ecosystem_engineers
- Mendoza, P. A. (2020). Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua 2017-2018. Managua: Universidad Nacional Agraria, tesis de ingeniero agrónomo.

- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA). (2003). *Reserva de biosfera del sureste de Nicaragua*. 155. Managua, Nicaragua. http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2014/02/1266523091_FICHA-UNESCO-Reserva-Biosfera-San-Juan.pdf
- Organizacion de la Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (FAO). (2015). Los suelos sanos son la base para la produccion de alimentos saludables. 4. <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>
- Organizacion de la Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (FAO). (2020). State of knowledge of soil biodiversity -. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- Pohlan, H. A., & Salazar Centeno, D. J. (2020). Pilares fundamentales para el diagnóstico, monitoreo y auditoría de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) mediante la metodología del Sistema de Semáforo (SdS) en cacaotales. En H. A. Pohlan, D. J. Salazar Centeno, & J. C. Torrico Albino, *Manual para el cacaocultor de cacao fino y de aroma u ordinario* (pág. 245). Alemania: Shaker.
- Rivera C, J. M. (2018). Raíces saludables significan larga vida productiva para cacao, café y otros perennes leñosos. *Fundacion Hondureña de Investigación, Agrícola*, 18. <https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/fiha.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Sánchez, P. A. (1981). Suelos del Tropico características y manejo. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. https://books.google.com.ni/books?id=20MMFDtmtGAC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Soil (Abril de 1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053149.pdf
- Soil Quality Institute (SQI). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- UNA, PASOLAC, & CIAT. (2005). *Manual de Metodos sencillos para estimar erosión hídrica*. Managua, Nicaragua.

CAPÍTULO IV. MACROFAUNA: ANÁLISIS DE SU DIVERSIDAD ALFA, BETA, FUNCIONALIDAD, BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Hugo René Rodríguez González¹, Anielka Paola Mendoza², Juan Noel Castro Guzmán³, Álvaro Reynaldo Gómez López⁴

¹Maestría en Ciencias de la Agroecología y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9672-7148>, hugo.rodriguez@ci.una.edu.ni

²Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. anilkita94@hotmail.com

³Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. noel.castroguzman@yahoo.com

⁴Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. alregolo1979@yahoo.com

“La agricultura desde sus inicios permitió alternativas productivas promovidas por la creatividad del hombre”. El asocio sistémico de cultivos y el desarrollo de arreglos espaciales e implementación de prácticas amigables, alejan a la agroecología de modelos contaminantes de producción (Rodríguez, 2019, p. 1).

En entornos de agricultura diversificada como los agroecosistemas agroecológicos, la macrofauna es considerada un indicador de calidad ambiental. Bignell *et al.* (2012) afirman que la “macrofauna incluye aquellos animales que miden más de un centímetro de largo, o que tienen una anchura o diámetro de más de 2 mm. Mucha macrofauna se desempeñan como ingenieros del suelo, estos habitan especialmente en ambientes tropicales” (p. 91).

La identificación de especies de macrofauna permite un conteo oportuno que debe ser analizado en cada agroecosistema (análisis de diversidad alfa) y entre ellos como un resultado de ambos (análisis de diversidad beta). Los servicios ecosistémicos que brinda la macrofauna encontrada son el resultado de su diversidad, su morfología prosigue a su función y por ende a un servicio o varios.

4.1. Diversidad alfa

“La alfa-diversidad es la biodiversidad intrínseca de cada comunidad vegetal concreta del paisaje en cuestión, la forma más sencilla de estimar la alfa-diversidad de una comunidad vegetal concreta es mediante el número o riqueza” (Ferriol y Merle, 2011, p. 3). Según Halffter *et al.* (2005); la diversidad alfa es conocida como el número de especies a escala local; diversidad dentro del hábitat (p. 19).

En el presente estudio se analizaron seis agroecosistemas haciendo comparación de a par; primera los agroecosistemas El Recuerdo y La Palma, luego Los Mangos y Los Reyes, finalmente El Mono y Jardín del Edén.

El agroecosistema El Recuerdo presentó macrofauna con cinco clases taxonómicas (Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta) 12 órdenes (Araneae, Blattodea, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Ixodida, Julida, Lepidoptera, Haplotaxida, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata) y 13 familias (Cosmetidae, Formicidae, Geotrupidae, Gryllidae, Ixodidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae, Pentatomidae, Scarabaeidae, Termitidae, Tettigoniidae y Theridiidae).

En el agroecosistema La Palma se identificaron cinco clases: Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta. Los órdenes que se identificaron fueron 11: Araneae, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Haplotaxida, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata y Scorpiones. Las familias encontradas en este agroecosistema fueron 12: Buthidae, Cosmetidae, Formicidae, Geotrupidae, Gryllidae, Julidae, Labiduridae, Lumbricidae, Nymphalidae, Pentatomidae, Tettigoniidae y Theridiidae.

En la Figura 4.1 se presentan los perfiles según Renyi (1991, p. 548) y se observa que la riqueza de familias taxonómicas es superior en el agroecosistema El Recuerdo, con una diferencia mínima cuando el valor de alfa es 0. El comportamiento de las curvas es similar para el resto del perfil, siendo superior el agroecosistema El Recuerdo en comparación al agroecosistema La Palma por valores mínimos en términos de uniformidad (alfa cercano a uno), dominancia (alfa = 2) y equidad (alfa superior a 2).

Estos resultados están estrechamente relacionados con el coeficiente de manejo de la biodiversidad, a mayor complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad del agroecosistema, mayor probabilidad de encontrar una mayor diversidad. Si dos agroecosistemas presentan componentes, manejo agronómico y localización similares, donde se ocasiona cierto nivel de perturbación obtendrán resultados aproximadamente equivalentes en términos de variabilidad de familias de macrofauna asociadas a las especies nativas e introducidas por los agricultores (Figura 4.1).

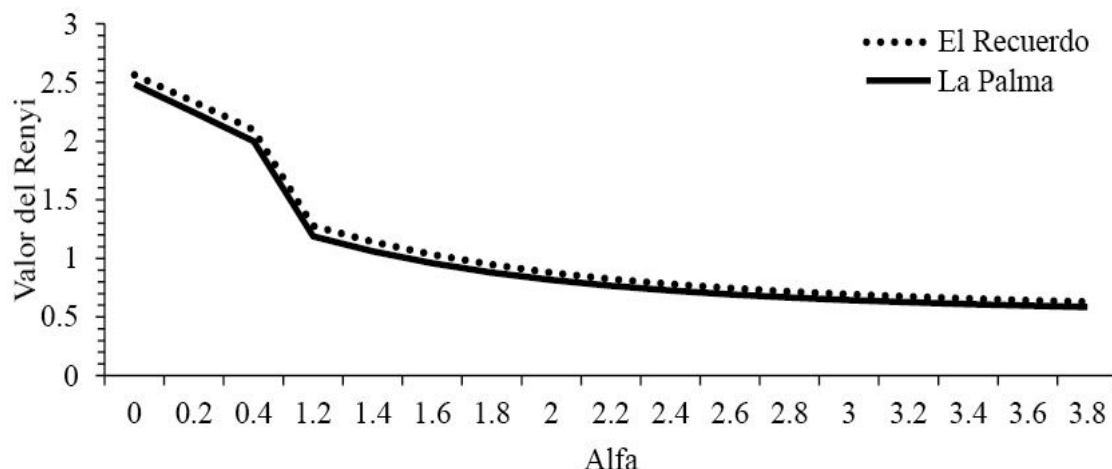


Figura 4.1. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Recuerdo y La Palma), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Gómez, 2021, p. 48).

En un estudio desarrollado por Coral y Bonilla (1998) en Colombia, se demostró que para uno de los componentes del perfil Renyi, en este caso “el índice de diversidad de Shannon-Weaver, fue de 2.7 en la selva secundaria; en cebolla de 1.81 y en la pradera de 0.71; resultados que ponen en manifiesto que las poblaciones no se adaptan a la perturbación ocasionada por las prácticas agrícolas y el manejo de la tierra” (p. 57).

En la Figura 4.2 se observa la comparación entre otros dos agroecosistemas de la misma localidad, en la comunidad Los Chiles. En el agroecosistema Los Mangos se registraron 116 individuos, pertenecientes a cuatro clases taxonómicas (Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), siete órdenes (Coleoptera, Haplotaenidae, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Orthoptera y Pulmonata) y seis familias (Formicidae, Gryllidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae y Tenebrionidae).

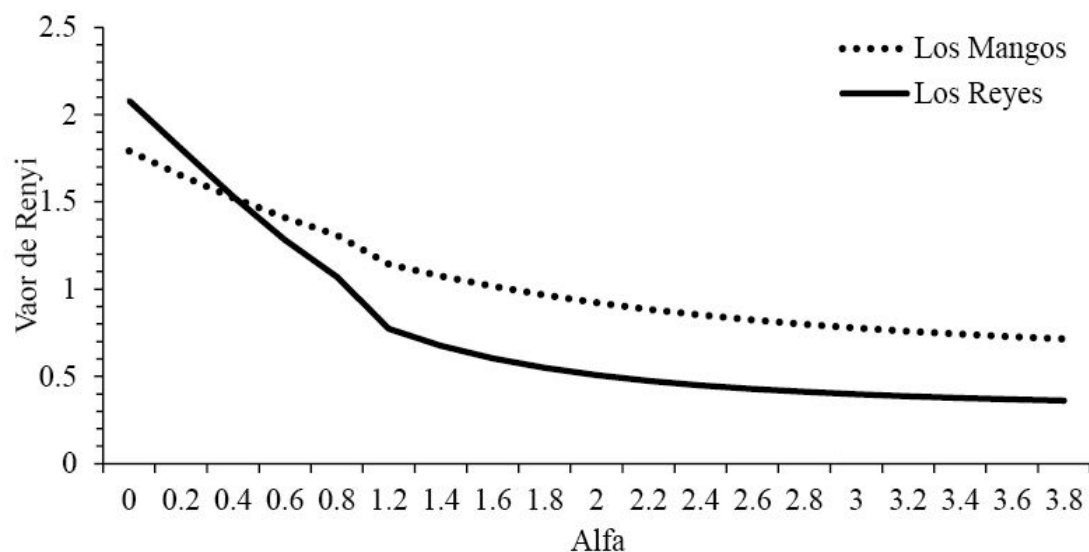


Figura 4.2. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Castro, 2021, p. 57).

Las especies “se distribuyen según jerarquías de abundancias, desde especies muy abundantes hasta algunas muy raras. Cuanto mayor es el grado de dominancia de algunas especies y de rareza de las demás, menor es la biodiversidad de la comunidad” (Aguirre, 2013, p. 34).

En el agroecosistema Los Reyes se registraron 182 individuos, pertenecientes a 5 clases (Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), ocho órdenes (Haplotaxida, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata y Spirostreptida) y ocho familias (Cosmetidae, Formicidae, Gryllidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae, Scelionidae y Spirostreptidae). Poseer diversidad de macrofauna en los agroecosistemas se convierte en un objetivo cuando los espacios brindan las condiciones encaminadas a la preservación de la genética existente. Esta responsabilidad es compartida entre todos los agricultores y gestores de procesos agroecológicos.

Nicaragua como país firmó ante la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1992) el Convenio sobre la Diversidad Biológica, en este se establecen tres objetivos: “la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos” (p. 3).

Evidenciar diferencias en términos de diversidad para dos agroecosistemas, implica describir el comportamiento de sus familias. En la figura 4.2 se observa un cruce entre las curvas de ambos agroecosistemas; esto ocurre porque inicialmente cuando alfa es cero el agroecosistema Los Reyes es superior en la riqueza de sus familias taxonómicas, superando al agroecosistema Los Mangos por dos familias. Luego el perfil de Renyi en un segmento de alfa entre 0.2 – 1, al aproximarse a 1, el agroecosistema Los Reyes experimenta una caída en su curva y se mantiene por debajo del agroecosistema Los Mangos, desde alfa=0.6 hacia el infinito positivo. El perfil de Renyi durante su aproximación a 1 se comporta como el índice de Shannon –Weaver verificando la uniformidad del número de individuos por especie presentes en cada agroecosistema.

La Figura 4.2 muestra una mejor uniformidad en el agroecosistema Los Mangos, porque existe balance numérico más cercano entre individuos de las diferentes familias presentes. La familia taxonómica Lumbricidae es más dominante en el agroecosistema Los Reyes, ocasionando una caída de la curva de Renyi.

Si alfa es 2, el perfil de Renyi se comporta según la dominancia inversa del índice de Simpson, en ese punto se observa por encima el agroecosistema Los Mangos porque este presenta menor dominancia. Desde alfa 2 hasta 3.8 se observa la equidad de Berger-Parker, siendo más equitativo el agroecosistema Los Mangos. Estos resultados observados desde alfa 2 hasta el 3.8 o superiores son ocasionados por el alto número de individuos de la familia Lumbricidae en el agroecosistema Los Reyes.

Este resultado de dominancia de la familia taxonómica Lumbricidae sobre el resto se considera benéfico porque son representantes importantes dentro del grupo funcional de detritívoros y reconocida como ingenieros del suelo. La familia Lumbricidae representa un indicador de calidad de suelos positivo para la agricultura agroecológica, por sus hábitos alimenticios y por sus efectos positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos.

Resultados obtenidos por Cabrera (2012) demuestran que la evaluación de la macrofauna edáfica, permiten proponer como indicador de la valoración del estado del suelo, el comportamiento de las poblaciones de lombrices de tierra (p. 360).

En la localidad La Azucena, el agroecosistema El Mono presentó seis clases taxonómicas: Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta. Los órdenes identificados fueron 16: Amblypygi, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Haplotaenidia, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Scolopendromorpha, Scorpiones y Stylommatophora. Las familias presentes fueron 32: Agelenidae, Anisolabididae, Anthocoridae, Araneidae, Arionidae, Bibionidae, Blaberidae, Blattidae, Cosmetidae, Cryptocercidae, Dysderidae, Elateridae, Erebididae, Formicidae, Helicidae, Julidae, Lumbricidae, Meloidae, Passalidae, Phalangiidae, Phrynidae, Reduviidae, Raphidophoridae, Rhinotermitidae, Scolopendridae, Scorpionidae, Scytodidae, Sparassidae, Tenebrionidae, Tettigoniidae, Theraphosidae y Veliidae.

En el agroecosistema Jardín del Edén se encontraron siete clases taxonómicas: Amphibia, Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda, Insecta y Reptilia. Los órdenes observados en este agroecosistema fueron 19: Anura, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Glomerida, Haplotaenidia, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Spirostreptida, Squamata, Strepsiteria, Stylommatophora y Trichoptera. Las familias representantes de la macrofauna fueron 54: Acanthosomatidae, Agelenidae, Anthocoridae, Aradidae, Araneidae, Arionidae, Blaberidae, Blattidae, Cerambycidae, Chironomidae, Coccinellidae, Colubridae, Conopidae, Cosmetidae, Cryptocercidae, Culicidae, Curculionidae, Dipluridae, Dysderidae, Elateridae, Erebididae, Forficulidae, Formicidae, Geotrupidae, Glomeridae, Gryllidae, Halictidae, Julidae, Lacertidae, Lumbricidae, Nitidulidae, Noctuidae, Pentatomidae, Phalangiidae, Philopotamidae, Pholcidae, Ranidae, Reduviidae, Rhinotermitidae, Salticidae, Scarabaeidae, Sclerosomatidae, Sicariidae, Sparassidae, Spirostreptidae, Stylopidae, Tabanidae, Tenebrionidae, Tettigoniidae, Theraphosidae, Theravidae, Theridiidae, Thomisidae y Veliidae. Este agroecosistema posee suelos más dinámicos, activos y complejos desde la perspectiva biológica, que se refleja en el mayor número de familias de macrofauna identificadas.

Los perfiles de diversidad según Renyi muestran al agroecosistema Jardín del Edén superior en riqueza cuando alfa es cero. Se observan resultados donde decae el Jardín del Edén a partir de alfa 1, esto se interpreta como una caída en su diversidad por presentar dominancia del Lumbricidae. Ambos agroecosistemas presentan estabilidad siendo superior en mayor proporción el agroecosistema El Mono (Figura 4.3).

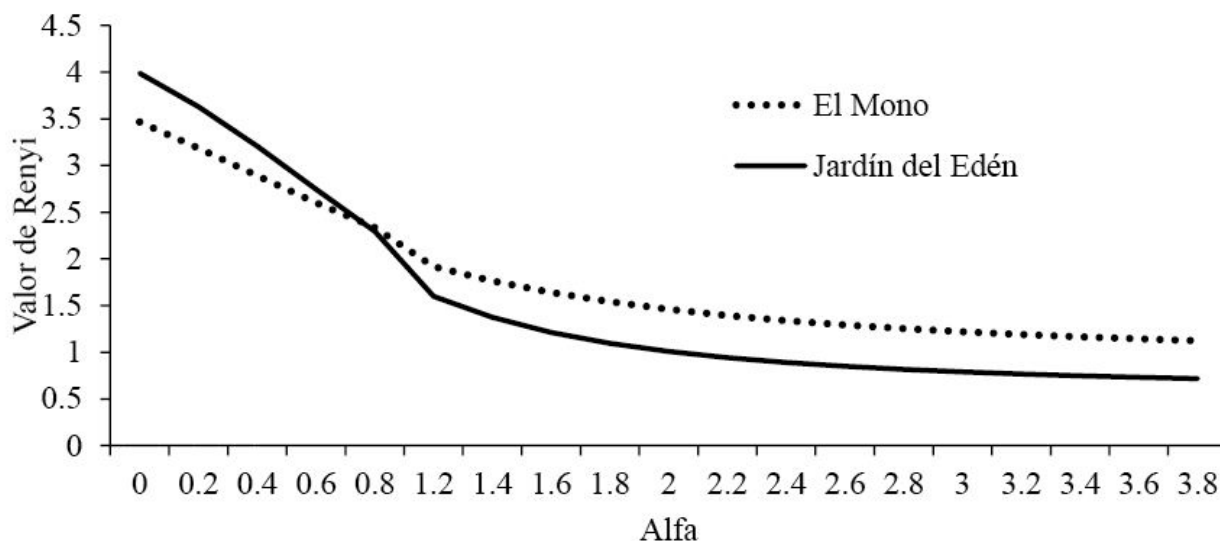


Figura 4.3. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Mono y Jardín del Edén) La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Mendoza, 2020, p. 54).

“La biodiversidad es un resultado del proceso evolutivo que se manifiesta en la existencia de diferentes modos de ser para la vida. Mutation y selection determinan las características y la cantidad de diversidad que existen en un lugar y momento” (Halffter, 1994, p. 6).

4.2. Diversidad beta

“La magnitud de cambio en la composición de las comunidades o el grado de diferenciación entre comunidades, en relación con un gradiente ambiental complejo o a patrones ambientales” se le conoce como diversidad beta (Whittaker, 1960, p. 285).

El índice de diversidad beta de Bray-Curtis determina la diferencia o semejanza relativa entre el número de individuos pertenecientes a cada taxa de organismo asociado a los agroecosistemas, este valor originalmente oscila entre 0-1. Esta medida de la diversidad se obtiene a partir de los resultados obtenidos con aquellas familias taxonómicas comunes en progresiva acumulada. Los valores obtenidos a partir de Bray-Curtis ingresan a un proceso de sumatoria acumulada, donde las familias más a la izquierda en la Figura 4.4 presentan una baja disimilitud y aquellas familias más a la derecha, son consideradas de alta disimilitud entre los agroecosistemas.

La familia taxonómica Pentatomidae aparece con mayor frecuencia en el agroecosistema El Recuerdo, contrario a su baja presencia en el agroecosistema La Palma. En este caso, en el Agroecosistema El Recuerdo se deberá realizar muestreos para verificar si la población de esta familia considerada plaga incrementa o no a niveles de daño económico (Figura 4.4).

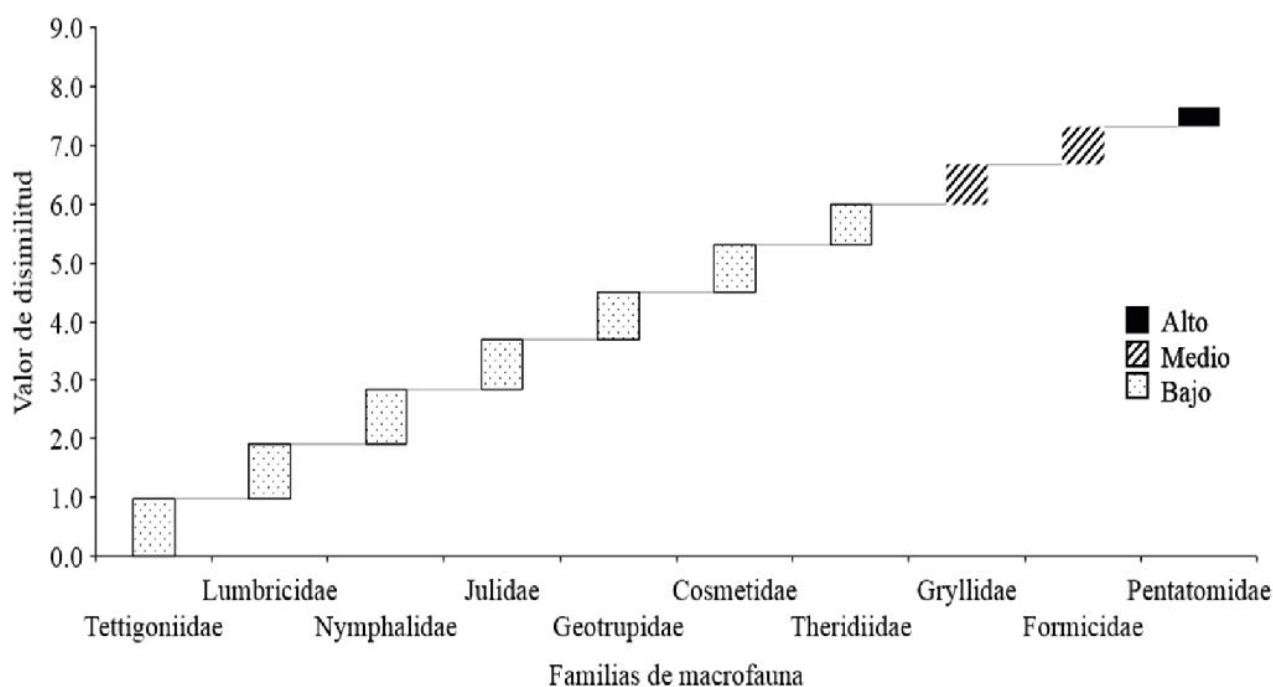


Figura 4.4. Disimilitud progresiva acumulada de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Recuerdo y La Palma), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.

Si comparamos la magnitud de la escala vertical entre las Figuras 4.4 y 4.5 se observa que la primera tiene una escala mayor, esto indica una riqueza superior de familias que se comportan de manera muy similar y están presentes en ambos agroecosistemas. En caso contrario, si los agroecosistemas presentan valores verticales menores, indica baja riqueza de familias comunes entre agroecosistemas y una mayor disimilitud entre familias taxonómicas.

Se propone una figura de construcción progresiva para ilustrar la condición de coexistencia necesaria en el funcionamiento del agroecosistema, donde la escalera diseñada a partir de las taxa, en este caso familias más a la izquierda, permite la sobrevivencia de organismos que están en la cúspide comportándose de forma más disímil, esta ilustración es un acercamiento más a lo que conocemos como rarefacción en el estudio de la biodiversidad. La remoción de familias taxonómicas en la base de la escalera tendería a un desequilibrio biológico y pérdida de estabilidad que repercutiría en la desaparición de las familias colocadas en la cúspide, un resultado negativo para la diversidad biológica de las familias taxonómicas de un agroecosistema.

En un estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2017b) se utilizó el índice de Bray Curtis, se caracterizó las abundancias de las familias taxonómicas con disimilitud de nivel alto, intermedio y bajo; y se encontró que, en la mayoría de los resultados, el número de familias con disimilitud alta siempre es menor en comparación al número de familias con disimilitud, de nivel bajo e intermedio (p. 34).

Si una familia de macrofauna considerada perjudicial, presenta un nivel alto de disimilitud; en el agroecosistema donde se encuentre una alta frecuencia deberá sobrellevarse un protocolo de seguimiento para valorar y analizar las causas de ese incremento poblacional.

El agroecosistema Los Mangos presentó una mayor abundancia de individuos pertenecientes a la familia Nymphalidae en comparación con el agroecosistema Los Reyes, por esta razón el nivel de disimilitud observado fue alto (Figura 4.5); dicha familia taxonómica es considerada perjudicial para el cultivo del maracuyá (*Passiflora spp.*). Según Sánchez y Rivas (2008), esta familia sobrevive perfectamente en selva baja caducifolia, bosques de galería y huertos frutales, con amplia flexibilidad de adaptación a diferentes ambientes (p. 99).

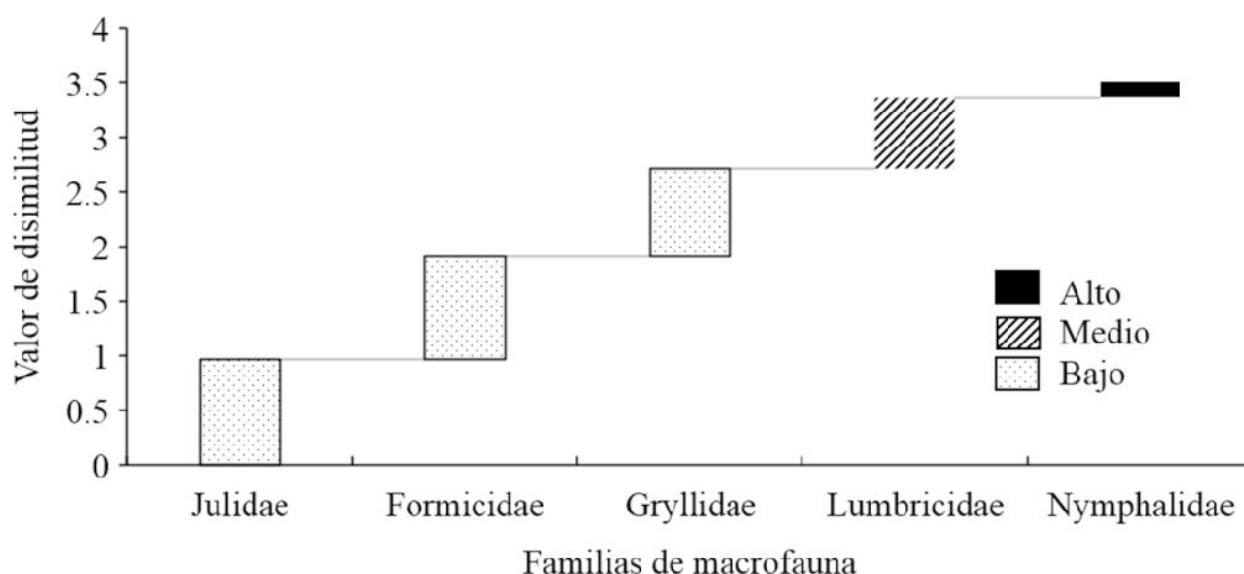


Figura 4.5. Disimilitud progresiva acumulada de la macrofauna en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.

El agroecosistema Los Mangos, está conformado por un cultivo de cacao en sistema agroforestal, pasto mejorado (*Brachiaria brizantha* CV.) y potrero natural; que generan diversidad de condiciones donde pueden encontrarse ejemplares de la familia Nymphalidae.

Si el crecimiento de la familia Nymphalidae es exponencial, se debe verificar dentro de los subsistemas si existen enemigos naturales como las hormigas (*Solenopsis giminata*,

Fabricius 1804, Hymenoptera: Formicidae), chinches (*Mormidea notulata* Herrich Schaeffer, 1844) y avispas (*Mischocyttarus angulatus* Richard, 1945), que son reductores de poblaciones de Nymphalidae (Murgas *et al.*, 2020, p. 97).

La disimilitud es media con la familia Lumbricidae (Figura 4.5). Las condiciones de bosque existente en el agroecosistema Los Reyes y ausente en Los Mangos propician el incremento de la población de lombrices encontrada en el primero. Esto en combinación con el sistema agroforestal con cacao del agroecosistema Los Reyes, duplica la abundancia relativa de individuos pertenecientes a esta familia respecto a la mitad de individuos encontrada en el agroecosistema Los Mangos.

En los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén se encontraron 64 familias representativas de la macrofauna, entre ellas 22 aparecieron en ambos sitios; determinándose que el comportamiento de la familia Anthocoridae fue la más similar para ambos sitios. La familia Cosmetidae fue la que presentó la mayor disimilitud; observándose este resultado de forma progresiva y gradual (Figura 4.6).

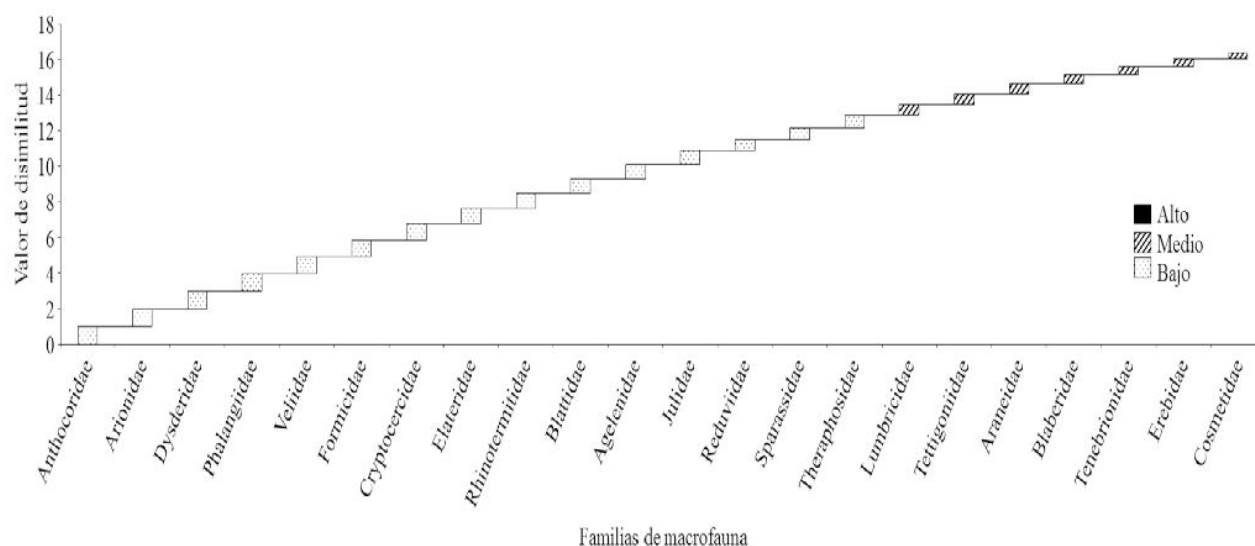


Figura 4.6. Disimilitud progresiva de la macrofauna en dos agroecosistema (El Mono y Jardín del Edén), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2019.

La familia Anthocoridae “son pequeños (1,4–4,5 mm) y comunes en una amplia variedad de hábitats (...) se alimentan en la superficie de pequeños artrópodos y otros se pueden encontrar en nidos de hormigas y especialmente debajo de la corteza” (Lattin, 1999, p. 1). Cosmetidae es endémica del Nuevo Mundo. El pico de su diversidad es en el norte de América del Sur, América Central y México, donde de un tercio a la mitad de las especies recolectadas están representadas por esta única familia (Kury y Pinto-da-Rocha, 2006, p. 184).

4.3. Funcionalidad de la macrofauna y servicios ecosistémicos

Numerosos investigadores “han coincidido en la hipótesis de que la diversidad de la macrofauna edáfica, así como la presencia de determinados grupos en un sistema, desarrollando funciones importantes, pueden ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos” (Sánchez y Reinés, 2001, p. 192).

La estructura, composición, diversidad y abundancia de la macrofauna está estrechamente relacionada con la complejidad de los agroecosistemas. Esta variabilidad de organismos representantes de la macrofauna origina la ejecución de funciones heterogéneas muy importantes para el desempeño de todo agroecosistema.

Según Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) los servicios ecosistémicos se clasifican en: servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de soporte (p. 2). En las cuatro categorías de servicios ecosistémicos, la macrofauna juega un papel importante: por ejemplo, en servicios de aprovisionamiento como alimento, la miel es un producto obtenido de las colmenas de las abejas; en servicios de regulación, la macrofauna con funciones de depredador se encarga de regular a otros organismos considerados plaga; en servicios culturales, muchas mariposas han sido fuente de inspiración para la creación de murales y obras de arte; en servicios de soporte, la función detritívora de la macrofauna es parte fundamental en la formación de suelos y el reciclaje de nutrientes.

Estudios realizados por Rodríguez *et al.* (2017a, p. 20); Rodríguez *et al.* (2017b, p. 19), Rodríguez *et al.* (2017c, p. 21) constataron que el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad influye sobre las poblaciones de los individuos que se comportan realizando diferentes funciones.

La macrofauna tiene niveles de complejidad en correspondencia a la diversidad de funciones desarrolladas por familia taxonómica. Para facilitar su análisis, se utilizaron cuadros y un diagrama concéntrico. Los Cuadros 4.1 y 4.2 hacen referencia a las funciones de la macrofauna, de las cuales se deducen los aportes a los servicios ecosistémicos; la macrofauna de estos cuadros vela por servicios de regulación y servicios de soporte en mayor proporción.

Los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo presentaron, entre ambos, 15 diferentes familias taxonómicas, las que por su morfología y hábitos desarrollan nueve diferentes funciones durante el desarrollo de su ciclo vital (Cuadro 4.1). De estas nueve funciones; siete son desarrolladas en el agroecosistema La Palma y ocho se verificaron en el agroecosistema El Recuerdo. Las funciones que se realizan indistintamente en ambos agroecosistemas son: detritívoro, fitófago, depredador, microvívoro-desfoliador, omnívoro, ingenieros del suelo y polinizadores.

Los Mangos y Los Reyes son dos agroecosistemas que presentaron nueve diferentes familias y con ellas se identificaron ocho grupos funcionales (Cuadro 4.2). Los ocho grupos funcionales fueron observados en el agroecosistema Los Reyes. En el agroecosistema Los Mangos se encontraron solamente seis. Los grupos funcionales comunes para ambos agroecosistemas fueron: detritívoro, fitófago, omnívoro, microvívoro-desfoliador, ingeniero del suelo y polinizador.

Detritívoro

Las familias más representativas de la macrofauna desempeñan un trabajo meticuloso utilizando su aparato bucal especializado para realizar cortes sobre materia orgánica y aquellos que primordialmente procesan materia de origen vegetal son considerados organismos detritívoros. Todo detritívoro da sus aportes con servicio ecosistémico de soporte.

Geotrupidae, Julidae, Lumbricidae, son familias de la macrofauna desempeñando función detritívora con mayor abundancia en el agroecosistema La Palma. Las familias Scarabaeidae y Termitidae sumadas a las tres familias anteriores evidenciaron una riqueza superior en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 4.1). Julidae y Lumbricidae, son detritívoros en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes presentando mayor abundancia en este último (Cuadro 4.2). Spirostreptidae solamente fue encontrado en el agroecosistema Los Reyes y Tenebrionidae únicamente en el agroecosistema Los Mangos.

Galante y Marcos (1997) afirman que los grupos de Coleópteros (Scarabaeidae, Geotrupidae o Sylphidae, dípteros (fases larvarias de Muscidae, Sarcophagidae o Calliphoridae), miriápodos (Diplopoda), lumbrícidos, etc.; son responsables de la trituration y fragmentación de los restos vegetales o animales, interviniendo en la fase de destrucción (p. 58).

Especies de diplópodos pertenecientes a la familia Julidae presentan hábitos alimentarios detritívoros y se le encuentra sobre restos orgánicos y madera muerta (Galán, 2019, p. 27). En una investigación realizada por Cabrera *et al.* (2017) se determinó que, en bosques primarios, bosques secundarios, sistemas agroforestales y pastizales; las hormigas (microvívoro-desfoliadores) fueron dominantes junto al grupo detritívoros prevaleciendo este último con similar abundancia con familias como Termitidae (p. 121).

Una de las familias de milpiés presente en el agroecosistema Los Reyes es la Spirostreptidae (Cuadro 4.2). Estos miriápodos se encuentran sobre la capa superficial del suelo en la sección de descomposición. Consumen detritos de la materia orgánica desarrollando acciones mecánicas que facilitan el reciclaje de nutrientes.

Los detritívoros, como los milpiés, tienen una función en el “suelo como organismos epígeos, al alimentarse de la hojarasca realizan fragmentación e inician el proceso de descomposición, aumentando la superficie de exposición para el ataque de la microflora” (Cabrera *et al.*, 2011, p. 332).

“Los coleópteros constituyen el orden de insectos más diverso, presentando una gran variedad de hábitos alimentarios. La familia Tenebrionidae, considerada típicamente como detritívora, es la más abundante de la fauna de coleópteros epigeos” (Cheli *et al.*, 2009, p. 771).

Fitófagos

En los agroecosistemas existen familias de macrofauna, que, por sus hábitos alimenticios durante ciertos estados de desarrollo, consumen tejidos vegetales para completar ciclos vitales. Cuando las curvas poblacionales de estas familias se elevan pueden ocasionar daños en cultivos importantes dentro de los agroecosistemas. Gryllidae, Nymphalidae, Pentatomidae, y Tettigoniidae se identificaron dentro de este grupo en los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo. En este último, son más abundantes los fitófagos. La familia Scarabaeidae se le suma a las anteriores, que es un resultado negativo en ambos casos, en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 4.1). Las familias taxonómicas Gryllidae y Nymphalidae se observaron en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes y son más abundantes en el primero. La familia Tenebrionidae fue encontrada únicamente en el agroecosistema Los Mangos (Cuadro 4.2).

Los fitófagos a pesar de ser considerados plagas, estos adicionalmente brindan un servicio ecosistémico de soporte, al entrar en correspondencia con acciones que dinamizan el reciclaje de nutrientes.

Los insectos que comen hojas como la familia Gryllidae son considerados plagas en cultivos como arroz (*Oryza sativa* L.), mientras se alimentan e incrementan su población (Quiroz, 1985, p. 12). Los grillos (Gryllidae) según El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1995) son considerados plagas en los cultivos de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), repollo (*Brassica oleracea* L.), café (*Coffea arabica* L.) y maracuya (*Passiflora edulis* S.) (p. 123). Gryllidae y Tettigoniidae, familias del mismo orden Orthoptera, utilizan como hospedantes cultivos como maíz, arroz, frijol y plantas herbáceas como la familia Poaceae, generando daños al cortar follaje, tallos y raíces de cultivos en etapa juvenil y en plántula (CATIE, 1998, p. 177).

En la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur se han establecido numerosas plantaciones de palma de aceite y otras especies de la familia Arecaceae. Agroecosistemas como La Palma y El Recuerdo, presentan diseños agroforestales con cacao que integran en su diversidad

aledaña especies de este tipo (Arecaceae), que contribuye a proporcionar condiciones hospederas para mariposas Nymphalidae. Estas en estado larval ocasionan daños el follaje de las plantas. Los adultos de esta familia presentan coloraciones llamativas, que aportan a la belleza escénica agroecológica y desarrollan función de polinización, mientras se alimentan de polen.

Naranjo (2020) afirma que numerosos miembros de la familia Nymphalidae han sido descritos como plagas de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), coco (*Cocos nucifera* L.) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (p. 15). La familia Pentatomidae se caracteriza por ser fitófago en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Maes, 1998, p. 447).

En Nicaragua, la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) pertenece a la familia Scarabaeidae y es considerada una plaga, porque durante su etapa larval se alimenta de las raíces de cultivos como el maíz (*Zea mays* L.), el sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y la papa (*Solanum tuberosum* L.). Este representante de la subfamilia Melolonthinae, no solo se alimenta de las raíces del cultivo, sino también de materia orgánica y raíces de otras arvenses. Si los niveles de materia orgánica en el suelo son bajos, la alimentación de las larvas se vuelve exclusiva de raíces y en ese momento se convierten en un problema para los agricultores.

En un estudio realizado en Chiapas, Ramírez y Castro (2000) determinaron que el mayor daño ocasionado por *Phyllophaga* spp. al cultivo de maíz ocurre cuando se comportan voraces durante el tercer estadio larval. Este género no solo se alimenta de las raíces del maíz, sino de diversas arvenses presentes en los sistemas, (Ejemplo, *Salvia* spp.) (p. 27).

Las larvas de *Phyllophaga* spp. viven en el suelo, se alimentan de materia orgánica y raíces. Aunque es particularmente común en los pastizales y caña de azúcar, los géneros económicamente importantes atacan las raíces de una vasta gama de cultivos y malezas (King, 1996, p. 50).

El falso gusano alambre pertenece a la familia Tenebrionidae, las larvas y adultos permanecen gran parte del tiempo en el suelo, “se alimentan de semillas, causando faltantes en los cultivos. Esto afecta los rendimientos e incrementa los costos de producción, debido a las medidas de manejo” (Quiroga y Posada, 2013, p. 391).

Depredadores

Existe macrofauna que presenta estructuras morfológicas diseñadas para capturar e ingerir a otros organismos. La cadena trófica en la que participa la macrofauna está organizada de forma compleja dentro de los agroecosistemas. Cosmetidae y Theridiidae son familias taxonómicas que pertenecen al grupo de depredadores y fueron encontradas en los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo. Buthidae y Labiduridae se identificaron de forma exclusiva en el agroecosistema La Palma.

En total, este agroecosistema integra a cuatro diferentes familias de depredadores (Cuadro 4.1). De este grupo funcional de depredadores, la familia Cosmetidae fue identificada en el agroecosistema Los Reyes y no se encontró en el agroecosistema Los Mangos (Cuadro 4.2).

Todos los depredadores se analizan como bioreguladores de poblaciones, por tanto, son parte del grupo que brinda servicios ecosistémicos de regulación. La reducción de plagas por acción biológica es muy valiosa dentro de los agroecosistemas, porque evita el uso de insumos agrícolas de origen sintético para la producción de alimentos y otras materias primas

La familia taxonómica Cosmetidae pertenece al orden Opiliones; estos arácnidos son artrópodos depredadores y se caracterizan por tener patas largas. Theridiidae es una familia taxonómica del orden Araneae, esta familia, desarrolla telarañas para la captura de sus presas dentro de sistemas agroforestales con cacao. La familia taxonómica Buthidae es del orden Scorpiones; son alacranes depredadores que inyectan veneno a otros artrópodos para luego alimentarse de sus cuerpos. En Nicaragua, las tijeretas se encuentran en diferentes partes del país; la familia taxonómica Labiduridae pertenece al orden Dermaptera, se identifican por presentar cercos en forma de tenazas al final de su abdomen; se alimentan de los huevos de otros artrópodos, los estados larvales de mariposas (orden Lepidoptera), larvas de escarabajos (orden Coleoptera) y de áfidos (orden Hemiptera).

Miranda *et al.* (2019) mencionan que, a veces, los opiliones (orden Opiliones) pueden comportarse como depredadores, y otras como carroñeros. Estos grupos de arácnidos son muy abundantes en ambientes tropicales. Se presentan dos casos de interacciones entre alacranes, arañas y un opilión (p. 5). Perez de la Cruz (2005) analizó la diversidad de la familia Theridiidae en cuatro asociaciones florísticas. La diversidad máxima se registró en el cacaotal (índice Shannon-Weiner = 2.09) (p. 41).

“Los escorpiones, conocidos comúnmente como alacranes, son organismos netamente depredadores”. Los venenos producidos por los escorpiones han sido desarrollados para inmovilizar a insectos y otros invertebrados, y que solo ocasionalmente y por contacto accidental ellos interactúan con el hombre (Flórez, 2001, p. 25).

En un estudio realizado por Marín y Feijoo (2007) se constató que insectos del orden Dermaptera se encuentran en el suelo no labrado, con presencia de cobertura de residuos vegetales sobre la superficie, característico de los cacaotales (p. 300).

Hematófagos

Los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo en sus diseños y manejos de la biodiversidad presentan pasto natural y mejorado (*Brachiaria brizantha* CV.). La alimentación del ganado en ambas fincas se realiza con un pastoreo directo en el campo donde los ectoparásitos como las garrapatas encuentran un nicho ecológico para su desarrollo. De la taxa familia se encontró a Ixodidae perteneciente al orden Ixodida. Este parásito se alimenta de la sangre del ganado bovino, cuando este se encuentra en los pastizales. Esta familia solo fue encontrada en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 4.1 y 4.2).

“Las garrapatas producen al ganado bovino la disminución en el consumo de alimento, pérdida de peso, anemias producidas por pérdida de sangre, irritación y depreciación de las pieles afectadas. Pueden transmitir agentes patógenos como virus, bacterias, rickettsias y protozoos” (Ojeda *et al.*, 2011, p. 179).

Un hematófago, a pesar de ser considerado una plaga, puede ser clasificado dentro de los servicios ecosistémicos de soporte, al reciclar los nutrientes presentes en la sangre de los organismos a quienes se la extrae.

Microvívoro-defoliador

Esta es una clasificación que se ha diseñado para describir las acciones de los integrantes de la taxa familia Formicidae, por sus hábitos al realizar cortes al follaje, transportar esta materia prima y dirigirse a su madriguera para ser utilizada en el cultivo de hongos; los que utilizan para alimentar a su población. En el proceso desarrolla una serie de hábitos sociales organizados para alcanzar objetivos comunitarios que repercuten en la defoliación de especies vegetales de importancia para la agricultura por el interés comercial que representan.

En el agroecosistema La Palma se encontró una abundancia superior de individuos de la familia Formicidae, en comparación al número de individuos observados en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 4.1). En el caso de los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes; ambos presentaron la familia Formicidae con abundancias relativas similares, tomando en cuenta que los formícidos son insectos con hábitos gregarios (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.1. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas (La Palma y El Recuerdo), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019 (Gómez, 2021, p. 51)

Familia	Detritívoro (n°)			Fitófago (n°)			Depredador (n°)			Hematófago (n°)			Microvívoro- defollador			Sarcosaprófago (n°)			Omnívoro (n°)			Ingenlero del suelo			Polinizador (n°)		
	LP	ER**		LP	ER		LP	ER		LP	ER		LP	ER		LP	ER		LP	ER		LP	ER		LP	ER	
Buthidae							2																				
Cosmetidae							3		2							3		2									
Formicidae													25		12				25		12		25		12		
Geotrupidae	7		10																								
Gryllidae				1		2																					
Ixodidae												1															
Julidae	18		24																								
Labiduridae							2									2											
Lumbricidae	178		161													178		161		178		161		178		161	
Nymphalidae				5		6																			5		6
Pentatomidae				2		10																					
Scarabaeidae			2			2																					
Termitidae			1																						1		
Tettigoniidae				16		17																					
Therididae							15		8																		
Total	203	198	24	37	22	10	22	10	0	1	1	25	12	12	180	161	208	175	203	173	5	5	5	5	6	6	6

Agroecosistemas: *La Palma (LP); **El Recuerdo (ER).

Las hormigas defoliadoras pertenecientes al género *Atta spp.* generan daños en cultivos importantes para el ser humano. “Cortan el tejido de las plantas y lo transportan a nidos subterráneos, donde cultivan un hongo del phylum Basidiomycota, que es su alimento principal” (Herrera *et al.*, 2013, p. 55).

Un microvívoro-desfoliador como la hormiga aumenta la aireación del suelo e incrementa la tasa de descomposición de materia vegetal proveniente de las plantas, es un servicio ecosistémico de soporte con la formación de suelos y el reciclaje de nutrientes. Esta acción es considerada perjudicial cuando su población incrementa y ataca a aquellos cultivos considerados de importancia económica para el ser humano.

Sarcosaprófagos

La comunidad de organismos que se alimentan de materia orgánica de origen animal que ha iniciado un proceso de descomposición se consideran sarcosaprófagos. Labiduridae es una familia taxonómica del orden Dermaptera encontrada en el agroecosistema La Palma que al encontrarse en presencia de carroña o cuerpos en descomposición de origen animal se alimenta del mismo. Lumbricidae es una familia del orden Haplotaxida que por sus hábitos alimentarios consumen diversas sustancias y materia putrefacta obtenida de cadáveres. Esta última familia fue observada en los cuatro agroecosistemas, sobresaliendo su abundancia en La Palma (Cuadro 4.1 y 4.2).

“El estudio de la comunidad sarcosaprófaga tiene relevancia, tanto en el aspecto de su estructura como en la sucesión de especies a lo largo del proceso de descomposición de un cadáver” (Flores, 2009, p. 2). En un estudio realizado para la captura de dos especies de Dermaptera, se determinó que la presencia de Dermaptera entre los insectos recolectados con trampas diseñadas para la captura de fauna necrófaga, no es sorprendente dado el carácter omnívoro para estos insectos. De hecho, la presencia de insectos omnívoros en la carroña es habitual (Martín y Baz, 2010, p. 572).

Morales y Wolf (2010) mencionan a macroinvertebrados sarcosaprófagos como la lombriz de tierra (Haplotaxida: Lumbricidae) y “numerosas larvas de dípteros que contribuyen con la generación de cambios en propiedades físicas y químicas de la materia orgánica durante los procesos de degradación y estabilización del compostaje” (p. 645).

Un cadáver en descomposición reúne a una serie de organismos, muchos de los cuales tienen una secuencia lógica para la aceleración del reciclaje de los nutrientes presentes que son aprovechados como fuente alimento. Esta acción es considerada como un servicio de regulación; el saneamiento que implica este proceso por acción biológica es importante para que los agroecosistemas se mantengan saludables.

Omnívoros

Las funciones de la macrofauna son múltiples entre diferentes representantes de la taxa familia. Los omnívoros por su capacidad para consumir alimentos de origen vegetal y animal ostentan más oportunidades para adaptarse y prosperar en diversos agroecosistemas. Esta habilidad les permite clasificar para el grupo de servicios ecosistémicos de soporte y servicios ecosistémicos de regulación.

Se reconocieron a las familias: Cosmetidae (arañas patonas), Formicidae (hormiga) y Lumbricidae (lombriz de tierra) en los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo. Se le suma a este conjunto la familia Labiduridae identificada únicamente en el agroecosistema La Palma (Cuadro 4.1). Las familias Formicidae y Lumbricidae fueron encontradas en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes. Una abundancia superior de omnívoros fue observada en el agroecosistema Los Reyes; se debe señalar que la familia Cosmetidae únicamente se encontró en este último agroecosistema.

Cosmetidae es una familia perteneciente al orden Opiliones. Son omnívoros que se pueden comportar, no solo como depredadores o carroñeros, inclusive pueden alimentarse de hongos y frutas (Miranda *et al.*, 2019, p. 7).

En los resultados obtenidos por Nieto (2017), se muestra poca variación en las morfoespecies de hormigas (formícidos) y una redundancia en los grupos funcionales siendo el grupo omnívoro – saprófago – granívoro el mayoritario para ambas especies de plantas (*Rinorea apiculata* Hekking y *Rinorea viridifolia* Hekking) (p. 12).

Escobar *et al.* (1998) mencionan el proceso digestivo llevado a cabo por la lombriz de tierra, quienes afirman que “ingieren al día una cantidad de alimento equivalente a su peso. Se alimenta de restos vegetales y animales, es omnívora. El alimento es succionado por la boca, pasando por el esófago donde hay glándulas calcíferas, que neutralizan la acidez” (p. 2).

La familia Labiduridae pertenece al orden Dermaptera. Cumple funciones de depredador y como parte de su dieta en ocasiones consume también tejidos de origen vegetal. Esta dualidad alimentaria le permite formar parte del grupo de omnívoros presentes en agroecosistemas de Nicaragua.

Herrera (2015) describe al orden Dermaptera como “insectos de cuerpo alargado, ligeramente aplanado, de tamaño mediano a pequeño. La alimentación de los dermápteros es de tipo omnívoro, aunque algunas especies más primitivas son predadoras por lo que se utilizan para la lucha biológica o lucha integrada” (p. 3).

Cuadro 4.2. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019 (Castro, 2021, p. 61)

Familia	Grupo funcional															
	Detritivoro		Fitófago		Omnívoro		Depredador		Parasitoide		Microvívoro- defoliador		Sarcosaprófago o		Ingeniero del suelo	
	LM *	LR **	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR
Cosmetidae					3		3									
Formicidae					9	8			9	8			9	8		
Gryllidae			3	2												
Julidae	18	17														
Lumbricidae	63	128			63	128					63	128	63	128		
Nymphalidae			13	1											13	1
Scellonidae										7						
Spirostreptidae		1														
Tenebrionidae	1		1													
Total	82	146	17	3	72	139	0	3	0	7	9	8	63	128	72	136
															13	1

Agroecosistemas: * Los Mangos (LM); ** Los Reyes (LR).

Ingenieros del suelo

La estructura del suelo y la disposición de sus partículas, día con día están siendo removidas por organismos de la macrofauna que habitan toda su vida o parte de ella en el suelo. Dos familias taxonómicas reconocidas por desarrollar galerías que modifican la compactación del terreno son hormigas (Formicidae) y lombrices de tierra (Lumbricidae). Estas dos familias fueron identificadas en los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo. Termitidae únicamente fue observada en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 4.1). La familia Formicidae y Lumbricidae fueron encontradas en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes con una abundancia superior en este último (Cuadro 4.2).

Nada mejor que un ingeniero del suelo para la reestructuración de la posición de las partículas que lo componen. Para que el suelo tenga vida requiere de estar en constante remoción. Esta actividad le permite clasificarse dentro del grupo de servicios ecosistémicos de soporte y servicios ecosistémicos de regulación.

Muchos organismos transforman “las propiedades del suelo, entre ellos están: las lombrices de tierra, termitas y hormigas, actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua, la humificación y mineralización de la materia orgánica” (Chávez *et al.*, 2016, p. 111).

Polinizadores

La polinización es una función de la macrofauna muy importante para la formación de frutos en plantas tanto autógamas (autopolinización) como alógamas (polinización cruzada). La acción mecánica realizada por agentes polinizadores sobre las estructuras florales facilita la movilidad del polen en flores de la misma planta o entre flores de plantas distintas pertenecientes a la misma especie. Este proceso es conocido como polinización entomófila.

Las mariposas pertenecen al orden Lepidoptera, estas desarrollan una función de polinización durante su estado adulto. Nymphalidae es una familia de mariposas encontrada en los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo con abundancia muy similar (Cuadro 4.1). La familia Nymphalidae se identificó en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes; siendo más abundante en el agroecosistema Los Mangos (Cuadro 4.2).

En un estudio realizado en León por Martínez *et al.* (2013) encontraron 35 especies de mariposas, de las cuales 23 correspondieron a la familia Nymphalidae. Estas fueron encontradas en 30 plantas, clasificadas como Nectáreas porque proporcionan néctar y polen del que se alimentan las mariposas (p. 82).

Todos los polinizadores caen en la categoría de servicios ecosistémicos de regulación. Pero si consideramos que esta actividad es fundamental para la producción de alimentos por tratarse de una acción que permite una fecundación de óvulo que desencadena una formación final de fruto utilizado por el ser humano para la comercialización o alimentación; en ese momento estos organismos se clasifican dentro de la cadena necesaria para el servicio ecosistémico de aprovisionamiento. Y si verificamos que muchas mariposas, abejas y demás polinizadores son utilizados como inspiración para artes plásticas, estarán en la categoría de servicios ecosistémicos culturales.

Parasitoide

Existe macrofauna del tipo oportunistas que se caracteriza por la inoculación de huevos; parasitando huéspedes vivos o huevos de otras especies. Cuando los huevos eclosionan las larvas emergentes se alimentan del huésped llevándolo a la muerte. A este organismo oportunista se le conoce como parasitoide. Si las acciones de parasitoide son desencadenadas sobre otros organismos, estos parasitoides oportunistas entrarán en la categoría de servicios ecosistémicos de regulación.

La familia taxonómica Scelionidae presenta este hábito oportunista parasitando huevos de insectos pertenecientes al orden Hemiptera (chinchas); es un proceso que lleva a cabo para completar su ciclo vital. Esta familia es utilizada para el manejo agroecológico de especies consideradas plagas en la agricultura. La familia Scelionidae fue observada en el agroecosistema Los Reyes. Esta función parasitoide está ausente en el agroecosistema Los Mangos (Cuadro 4.2).

Según CATIE y GTZ (2002) “la mayoría de los parasitoides utilizados en el control biológico de plagas pertenecen a las familias: Scelionidae, Braconidae, Tachinidae, Trichogrammatidae entre otras; de las cuales una gran cantidad de géneros y especies son reproducidos masivamente y comercializados” (p. 120).

Las funciones de las diferentes familias identificadas de la macrofauna en los agroecosistemas comparados en Los Chiles (La Palma vs El Recuerdo; Los Mangos vs Los Reyes) se han sintetizado en los Cuadros 4.1 y 4.2. Adicionalmente, en este capítulo se propone otra forma de representar las funciones de las familias de la macrofauna, mediante Diagramas concéntricos, que se muestra en la Figura 4.7.

En La Azucena, San Carlos, Río San Juan; se observa que en el agroecosistema Jardín del Edén existe una mayor población de macrofauna con una mayor riqueza de familias taxonómicas en comparación con el agroecosistema El Mono (Figura 4.7).

“El conocimiento de la magnitud de la biodiversidad se ha obtenido rutinariamente a través de exploraciones sistemáticas y de muestras que se procesan y resguardan” (Villaseñor *et al.*, 2005, p. 5).

La riqueza de especies guarda en su interior las funciones. Un número específico para la riqueza no necesariamente expresa el conteo de funciones desempeñadas dentro de los agroecosistemas porque existen organismos que desempeñan funciones no solo únicas, sino dobles, triples y múltiples. Parte de esta investigación es encontrar la verdadera riqueza y ubicarla como uno de los indicadores más confiables para el análisis de la calidad del suelo y del agroecosistema.

“La calidad del suelo dependerá mucho [de] una interacción equilibrada de los componentes, físicos, químicos, biológicos y antrópicos, es decir esta dependerá de la interacción de los organismos presente en él y de las funciones que cada uno desempeñan” (Lazo y Aguirre, 2018, p. 2).

En términos funcionales dentro del agroecosistema Jardín del Edén se presentó un mayor número de individuos desempeñando una única función. Organismos de macrofauna con funciones dobles y triples se presentan en ambos agroecosistemas observándose una similar proporción de funciones dobles en ambos agroecosistemas y una mayor proporción de funciones triples en el agroecosistema El Mono, esto puede identificarse verificando la magnitud de las colas presentes en el diagrama concéntrico y verificar su complejidad ecológica (Figura 4.7).

El suelo es muchas veces manejado sin tener en cuenta la compleja trama ecológica que contiene, la cual es responsable de sus principales atributos productivos, relacionados con sostenibilidad (Pardo, 2013, p. 108).

La interpretación de la representatividad por familia taxonómica en el diagrama concéntrico se realiza observando la figura y analizando en el sentido a favor de las manecillas del reloj por cada sistema; el color celeste representa al agroecosistema El Mono y el color naranja representa al agroecosistema Jardín del Edén. La familia con la mayor representatividad es Julidae en ambos agroecosistemas (Figura 4.7).

La familia Julidae se comporta siendo un representante del grupo funcional detritívoro. La actividad humana con los agroecosistemas ha traído como consecuencia la contaminación del suelo con metales pesados. La familia Julidae tiene una función importante al acumular en sus cuerpos trazas de estos metales pesados.

En un estudio realizado por Smirnov (1998) se determinó que la función biológica para acumular la mayor concentración de metales pesados la poseen los miembros de la familia Julidae, que acumulan cientos de veces más tóxicos que su contenido en el suelo (p. 1).

En un agroecosistema ideal existen organismos desempeñando funciones únicas y múltiples del tipo benéfico. Al verificar el tipo de función realizada dentro de los agroecosistemas existe una mayor proporción de organismos fitófagos perjudiciales en el agroecosistema El Mono. Sin importar que se tengan mayor proporción de funciones múltiples, si dentro de este agroecosistema se observa organismos con una función considerada perjudicial, se debe entender que esta condición va en detrimento de los objetivos del agricultor y la productividad del agroecosistema.

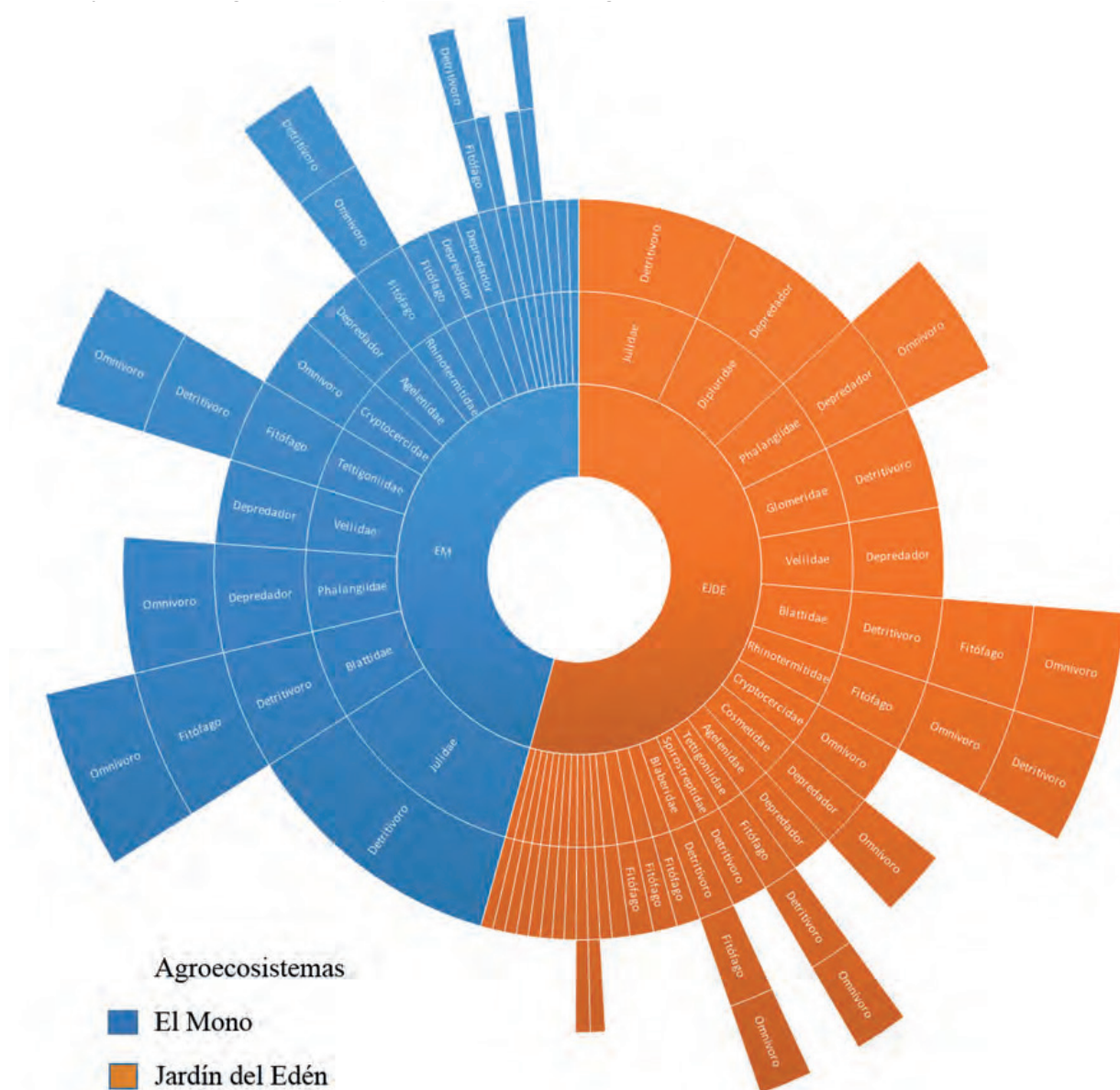


Figura 4.7. Diagrama concéntrico de familias y funciones desempeñadas por organismos de la macrofauna en dos agroecosistema (El Mono y Jardín del Edén), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2019.

Las funciones con una mayor frecuencia observada en el diagrama concéntrico (Figura 4.7), se clasifican dentro de los servicios ecosistémicos de regulación y de soporte. Los servicios ecosistémicos culturales y de aprovisionamiento se dan con una incidencia sutil. Siempre que se propicien las condiciones necesarias para que estos dos últimos servicios ecosistémicos progresen, se puede alcanzar una productividad superior en el agroecosistema agroecológico.

De estos resultados se puede concluir que los agroecosistemas por sus características están influenciados por condiciones de manejo; en oposición a esto la naturaleza tiene una batalla continua por el restablecimiento del balance energético característico de los ecosistemas naturales. El resultado de este proceso origina una serie de familias taxonómicas trabajando en conjunto para brindar servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte. La participación de la macrofauna se realiza con una mayor tendencia hacia los servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Si las condiciones de manejo tienen un enfoque agroecológico las acciones de la macrofauna tendrán un resultado de mayor impacto sobre agroecosistemas integrados.

Referencias

- Aguirre Mendoza, Z. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Bignell, D. E., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J., Zanetti, R. (2012). Macrofauna. En F. Moreira, E. Jeroen Huising, & D. E. Bignell, *Manual de biología de los suelos tropicales* (págs. 91-92). Mexico D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Cabrera Dávila, G. d., Socarrás Rivero, A. A., Hernández Vigoa, G., León Lima, D. P., Menéndez Rivero, Y. I., & Sánchez Rondón, J. A. (abril-junio de 2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v40n2/pyf05217.pdf>
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 349-364.
- Cabrera, G., Robaina, N., & Ponce de León, D. (2011). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra de las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 331-346. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v34n3/pyf08311.pdf>
- Castro Guzmán, J. N. (2021). Calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 80.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). (1995). *Plagas invertebradas de cultivos tropicales con énfasis en América Central: un inventario*. Turrialba, Costa Rica: Área de fitoprotección <https://books.google.com.ni/books?id=QYxCwkwchwEC&hl=es>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). (1998). *Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central*. Turrialba, Costa Rica. https://books.google.com.ni/books?id=21RLT3WlCwC&hl=es&source=gbp_navlinks_s

- CATIE y GTZ. (2002). Manejo de insectos mediante parasitoides. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 1(66), 118-122. <http://www.sidalc.net/repdoc/a2023e/a2023e.pdf>
- Chávez Suárez, L., Labrada Hernández, Y., & Álvarez Fonseca, A. (Julio-Septiembre de 2016). Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 39(3), 111-115 <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v39n3/pyf05316.pdf>
- Cheli, G. H., Corley, J. C., Castillo, L. D., & Martínez, F. J. (Noviembre de 2009). Una aproximación experimental a la preferencia alimentaria de *Nyctelia circumundata* (Coleoptera: Tenebrionidae) en el noreste de la Patagonia. *Interciencia*, 34(11), 771-776. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913148003.pdf>
- Coral E., D. M., & Bonilla C., C. R. (Diciembre de 1998). Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del lago Guamues, Pasto, Colombia. *Acta Agronómica*, 48(3), 57. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/articulo/viewFile/48012/49220
- Escobar Acevedo, C. J., Zuluaga Pelaez, J. J., Colorado Gasca, G., & Cardenas Guzman, C. A. (Noviembre de 1998). Bitstream. (Corpoica, & Producción Editorial Produmedios, Edits.) Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Tecnología para la producción de lombricomposto: Alternativa para desarrollar una agricultura sostenible: http://137.117.40.77/bitstream/11348/6686/1/20061127171343_Tecnologia%20%20produccion%20lombricomposto.pdf
- Ferriol Molina, M., & Merle Farinós, H. (2011). Universidad Politecnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/>: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft%20Word%20-%20articulo%20docente%20def.pdf?sequence=1>
- Flores Pérez, L. R. (2009). Sucesión de entomofauna cadavérica utilizando como biomodelo cerdo blanco, *Sus scrofa* L. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Montecillo. Texcoco, México: Colegio de posgraduados. http://www.cm.colpos.mx/inicio/images/tesis_p/entomologia/tesis_sucesion.pdf
- Flórez D., E. (2001). Escorpiones de la familia Buthidae (Chelicerata: Scorpiones) de Colombia. *Biota Colombiana*, 2(1), 25-30. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/articulo/view/87/87>
- Galán, C. (Junio de 2019). *Biología subterránea de una extensa sima en caliza dolomítica y dolomía de edad*. Sociedad de Ciencias Aranzadi.: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59552717/Total.BioSubtEzkarretabaso20190606-80359-wr5luh.pdf?1559842650=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBiologia_Subterranea_de_una_extensa_sima.pdf&Expires=1598418734&Signature=ajLGpRIbULbD8qIBTPnH
- Galante, E., & Marcos García, M. Á. (1997). Detritívoros, coprófagos y Necrófagos. *Revista IDE@-SEA*, 1(20), 57-64.
- Gómez López, Á. R. (2021). Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018. Tesis de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria. P. 67.

- Halffter, G. (1994). ¿Qué es la biodiversidad? *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 62, 5-14.
- Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P., & Melic, A. (2005). *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades*. Zaragoza: Monografías 3er Milenio.
- Herrera Mesa, L. (30 de Junio de 2015). Orden Dermaptera. *IDE@ - SEA*, 1(42), 1-10.
- Herrera, E. E., Sánchez, V., & Blanco, H. (Junio-Diciembre de 2013). Formulación de gránulos bases para la incorporación de ingredientes activos con efecto biológico sobre el hongo simbiótico cultivado por la hormigas forrajeras del género. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 55-69. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v37n2/a05v37n2.pdf>
- King, A. (1996). Biología, identificación y distribución de especies económicas de Phyllophaga en América Central. En P. J. Shannon, & M. Carballo, *Seminario-taller Centroamericano sobre la Biología y control de Phyllophaga spp* (págs. 50-61). Turrialba, Costa Rica. <http://www.sidalc.net/REPDOCA4333E/A4333E.PDF>
- Kury, A. B., & Pinto-da-Rocha, R. (8 de agosto de 2006). *Cosmetidae Koch*. https://www.researchgate.net/profile/Adriano-Kury/publication/256543648_Cosmetidae_Koch_1839/links/58c67f24aca272e36dde5dce/Cosmetidae-Koch-1839.pdf
- Lattin, J. D. (1999). Bionomics of the Anthocoridae. *Annual Review of Entomology*, 44, 207-231.
- Lazo Saire, M. A., & Aguirre Cortez, A. A. (2018). *La macrofauna edáfica como indicador de la calidad biológica del suelo en diferentes sistemas de producción en la Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Maes, J. M. (1998). *Insectos de Nicaragua* (Vol. I). León, Nicaragua: PRINT.
- Marín V., E. P., & Feijoo M., A. (Julio-Septiembre de 2007). Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.*, 25(3), 297-310 <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325309.pdf>
- Martín Vega, D., & Baz, A. (2010). Datos sobre Dermaptera capturados en trampas cebadas con carroña en el centro de la Península Ibérica. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 1(46), 571-573. http://sea-entomologia.org/Publicaciones/PDF/BOLN_46/571573BSEA46Dermapteracarroa.pdf
- Martínez Picado, C. H., Martínez López, D. A., & Arosteguí Mendoza, S. A. (2013). Plantas Hospederas y Nectáreas de Lepidópteros de las familias Nymphalidae, Papilionidae y Pieridae del Jardín Botánico Ambiental de la UNAN-León. Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua, León. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6017/1/223004.pdf>
- Millennium Ecosystem Assessment. (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Washington, USA: World Resources Institute.
- Mendoza, P. A. (2020). Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua 2017-2018. Managua: Universidad Nacional Agraria, tesis de ingeniero agrónomo.

- Miranda, R. J., Murgas, I. L., Lezcano, J. J., & Townsend, V. R. (Enero-Junio de 2019). Observaciones de campo sobre interacciones entre tres grupos de arácnidos depredadores en Panamá. *Tecnociencia*, 21(1), 5-13 <http://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/319/279>
- Morales, G. E., & Wolff, M. (2010). Insectos asociados al proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos separados en la fuente. *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(4), 645-653. doi:<https://doi.org/10.1590/S0085-56262010000400017>
- Murgas, A. S., Martínez, A., & Rodríguez, L. M. (Enero-Junio de 2020). Enemigos naturales de Dione juno (Cramer, 1779) (Lepidoptera: Nymphalidae) en cultivo de Passiflora edulis Sims, J. (1818) Centro Regional Universitario de Coclé, Universidad de Panamá. *Tecnociencia*, 22(1), 97-108.
- Naranjo Petro, K. L. (2020). *Dinámica poblacional del defoliador de la palma de aceite Opsiphanes cassina Felder (Lepidoptera: Nymphalidae) en la zona norte palmera colombiana*. Córdoba: Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2994/Naranjo%20Petro%20Karen%20Lucia.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Nieto Lucero, D. A. (2017). Diversidad funcional de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a la hojarasca de dos especies de plantas que habitan en agregación espacial en un bosque dentro del Parque Nacional Yasuni. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13983/D.Nieto%20Disertaci%C3%B3n%20Ciencias%20Biol%C3%B3gicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ojeda Chi, M. M., Rodríguez Vivas, R. I., Galindo Velasco, E., Lezama Gutiérrez, R., & Cruz Vazquez, C. (Abril-Junio de 2011). Control de Rhipicephalus microplus (Acari: Ixodidae) mediante el uso de hongo entomopatógeno Metarhizium anisopliae (Hypocreales: Clavicipitaceae). Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(2), 177-192. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v2n2/v2n2a5.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. Río de Janeiro, Brasil: ONU. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Instrumentos.nsf/d9e9b7b996023769062578b80075d821/3f2e849ecd0049f5062573ec005d941f?OpenDocument>
- Pardo, L. C. (19 de Diciembre de 2013). Funciones ambientales en suelos tropicales a partir de las relaciones tróficas de los macroinvertebrados edáficos. *Sociedad Colombiana de la ciencia del suelos*, 43(2), 108-118. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/29/25
- Perez de la Cruz, M. (2005). Diversidad de teridiidos (Araneae: Theridiidae) en cuatro asociaciones florísticas, en el ejido "Las Delicias" en Teapa, Sureste de México. *Eco sistemas y recursos agropecuarios*, 21(41), 41-44. <http://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/344/280>
- Quiroga Murcia, D., & Posada Flores, F. J. (Julio-Diciembre de 2013). Daño ocasionado por el falso gusano alambre Eleodes pos. omissoides Blaisdell (Coleoptera: Tenebrionidae) en semillas de gramíneas y leguminosas. U.D.C.A. *Actualidad y Divulgación Científica*, 16(2), 391-400. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/1752/1/Art%C3%adculo.pdf>
- Quiroz, M. E. (15 de Enero de 1985). Plagas del arroz en Nicaragua y su control. *El Arrocero* (Nicaragua), 3(7), págs. 11-19. Recuperado el 26 de agosto de 2020

- Ramírez Salinas, C., & Castro Ramírez, A. E. (2000). El complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en El Madronal, municipio de Amatenango del Valle, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 1(79), 17-41. <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/n79/n79a3.pdf>
- Renyi, A. (1991). On measures of entropy and information. En J. Neyman, *Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (págs. 547-561). Berkeley, C.A.: University of California Press.
- Rodríguez González, H. R. (14 de Noviembre de 2019). *Researchgate*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2020, de Bases agroecológicas para el diseño de agroecosistemas biointensivos: https://www.researchgate.net/publication/337261760_Bases_agroecologicas_para_el_diseno_de_agroecosistemas_biointensivos
- Rodríguez González, H. R., Aguilera Quiroz, Y. J., Pilarte Morraz, M. d., Herradora Gutiérrez, Y. d., Galeano Altamirano, N. M., García López, O. G., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017c). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua* (págs. 21-33). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. https://www.researchgate.net/publication/343981396_Evaluacion_agroecologica_de_dos_agroecosistemas_con_granos_basicos_en_Diriamba_y_dos_en_Chinandega_Nicaragua
- Rodríguez González, H. R., Chavarría Díaz, B. R., Martínez Arauz, J. A., & Rocha Espinoza, J. D. (2017b). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua* (pág. 72). Managua: Grupo SEVEN.
- Rodríguez González, H. R., González Merlo, L. H., Vargas Urbina, J. E., Laguna Ramíres, M. J., Herrera Moncada, H. J., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017a). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua* (págs. 45-59). Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN.
- Sánchez Jasso, J. M., & Rivas Manzano, I. V. (2008). Ciclo biológico y hábitos alimenticios de Dione juno huascuma (Lepidoptera: Nymphalidae) del platanal, Malinalco, Estado de México. *Entomología Mexicana*, 99-104.
- Sánchez, S., & Reinés, M. (2001). Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y forrajes*, 24(3), 191-202. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=896&path%5B%5D=398>
- Smirnov, Y. B. (1998). Influence of melioration on soil invertebrates in agricultural lands. *Toxicology Letters*, 95 (1001), 230-231 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39302>
- Villaseñor, J. L., Maeda, P., Colín López, J. J., & Ortiz, E. (Junio de 2005). Estimación de la riqueza de especies de Asteraceae mediante extrapolación a partir de datos de presencia - ausencia. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (76), 5-18. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57707601.pdf>
- Whittaker, R. H. (February de 1960). Vegetation of the siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, 279-338.

CAPÍTULO V. MICROBIOTA EDÁFICA: FUNCIONALIDAD, SIMBIOSIS, BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y PERSPECTIVAS

Dennis José Salazar Centeno¹, Anielka Paola Mendoza², Juan Noel Castro Guzmán³ y Álvaro Reynaldo Gómez López⁴

¹Doctor Agriculturarum, Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3281-2348>, dennis.salazar@ci.una.edu.ni

²Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. anilkita94@hotmail.com

³Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. noel.castroguzman@yahoo.com

⁴Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Agraria. Sede Juigalpa. alregolo1979@yahoo.com

De la Peña (2009) afirma que “la interacción entre las plantas y la biota edáfica se puede entender como un gran mutualismo, en el que las plantas proporcionan el carbono para la biota edáfica y esta, devuelve los nutrientes necesarios para mantener la producción primaria” (p. 64), sin embargo, existen relaciones entre las plantas y la biota edáfica en que organismos de la biota edáfica pueden causar graves daños a los vegetales.

Swift *et al.* (2012) ratifican que la biota edáfica:

Se clasifica de acuerdo con el ancho de su cuerpo en macrofauna >2.0 mm; mesofauna 0.1-2.0 mm; y microfauna <0.1 mm. Por su parte, nematodos y protoctistas pueden considerarse como componentes de la microbiota general, un grupo que incluye muchos organismos con papeles especiales y una diversidad de descomponedores genéricos. (p. 39)

Carballas (2004) afirma que a la microbiota edáfica la constituyen:

Tres grandes grupos: bacterias (en el que se incluyen actualmente los actinomicetos y algunas algas), hongos y algas, que a su vez se subdividen en función de sus fuentes de carbono y de energía o en su supervivencia en presencia o en ausencia de oxígeno. Las bacterias y hongos son fundamentalmente organismos mineralizadores mientras que las algas son organismos productores. (p. 5)

La mayor actividad de los microorganismos [microbiota edáfica] se realiza desde la superficie del suelo hasta unos 20 centímetros de profundidad. Las colonias de microorganismos permanecen adheridas a las partículas de arcilla y humus (fracción coloidal) y a las raíces de las plantas que les suministran sustancias orgánicas que les sirven de alimento y estimulan su reproducción. Estas exudaciones dependen

del buen estado nutricional de la planta y así favorecen el crecimiento de los microorganismos que son importantes para ella. Su actividad y su desarrollo están asociados a la disponibilidad de los sustratos a transformar. La colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas dependen de la función que sé este [esté] cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de proteínas, amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización). Por lo tanto, mientras algunos microorganismos actúan sobre un sustrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación. Cuando terminan su función sobre la degradación del sustrato, los grupos microbianos que estaban actuando principalmente disminuyen al máximo, se reproducen o entran en latencia y se incrementa la población de otros que cumplirán funciones de transformación en los productos del metabolismo del grupo microbiano anterior. Cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es una etapa en la descomposición de un material orgánico o inorgánico. Una mayor cantidad de microorganismos en el suelo permite una mejor actividad metabólica y enzimática para obtener plantas bien nutridas con buena capacidad para producir. (Delgado Higuera, s.f., p. 1-2)

Por una parte, existen microorganismos que conforman la microbiota del suelo que contribuyen a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos y a la sostenibilidad de los ecosistemas y agroecosistemas por ser:

Los principales agentes del ciclado de los nutrientes al regular la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono, (...), la estructuración del suelo y la retención de agua, del aumento en la cantidad y la eficiencia de absorción de nutrientes por los vegetales y del mantenimiento de la salud vegetal. (Correa, 2016, p. 1)

Por otra parte, a la microbiota edáfica pertenecen otros microorganismos, que pueden causar graves daños a los vegetales, que son de origen fúngico o bacteriano, y existe una competencia entre los organismos que conforman la microbiota del suelo que contribuyen a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos y a la sostenibilidad de los ecosistemas, agroecosistemas; y los organismos perjudiciales. También, existen relaciones entre los géneros de la microbiota edáfica; entre estos y la macrofauna, y entre estos y los vegetales.

A los microorganismos que conforman la microbiota edáfica, que contribuyen a la oferta de bienes y servicios ecosistémicos y a la sostenibilidad de los ecosistemas y agroecosistemas se les ha denominado microorganismos promotores del crecimiento vegetal y a los que provocan daños a los vegetales, microorganismos fitopatógenos.

Al primer grupo pertenecen las rizobacterias, promotoras del crecimiento vegetal, que colonizan la raíz y mejoran el crecimiento y rendimiento de los vegetales, mediante diferentes mecanismos de acción. Moreno Reséndez *et al.* (2018) proponen congrega a los mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tres grupos que son: 1) Biofertilización; 2) Fitoestimulación; y 3) Biocontrol. El mecanismo de acción del grupo de la biofertilización se fundamenta en la fijación del nitrógeno atmosférico, solubilización de fósforo y hierro, producción de sideróforos (quelación del hierro), y la producción de polisacáridos extracelulares, que contribuyen a la estabilidad del suelo y transferencia del agua hacia las raíces. El mecanismo de acción de la fitoestimulación consiste en la producción de sustancias promotoras del crecimiento de los vegetales como auxinas (AIA), giberelinas, etileno, cito quininas y ácido abscísico (ABA). El mecanismo de acción del biocontrol radica en la producción de antibióticos, enzimas líticas (β -glucanasas, celulasas, dehidrogenasas, exo y endo-poligalacturonasas, fosfatasas, hidrolasas, lipasas, pectinoliasas, proteasas y quitinasas, que actúan fundamentalmente contra los hongos), la síntesis de cianuro de hidrógeno y de compuestos volátiles y la resistencia inducida y adquirida (p. 68-79).

Por otra parte, Molina-Romero *et al.* (2015) aseveran que los efectos benéficos de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal se optimizan, si estos microorganismos ejercen una combinación de sus mecanismos de acción, pero para que eso acontezca, primeramente, debe ocurrir tres pasos indispensables: 1) Atracción de la bacteria hacia la rizósfera de su hospedero, 2) Adhesión y colonización a la superficie de la raíz y 3) Funcionalidad de la simbiosis asociativa. Otra clasificación consiste en categorizar a los mecanismos promotores del crecimiento vegetal en los que causan efectos directos e indirectos. Los primeros acontecen mediante la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (Simbiosis y diazotróficas o de vida libre), la solubilización de fosfatos, la producción de fitohormonas (auxinas [AIA], citocininas, etileno, giberelinas y ácido abscísico [ABA]), la producción de antibióticos y la producción de sideróforos. Los efectos indirectos de promoción del crecimiento vegetal consisten en el biocontrol de organismos patógenos (Antagonismo [el ácido cianídrico, que es volátil, el ácido fenazina-1-carboxílico, la pioluteorina, la pirrolnitrina, los lipopéptidos cíclicos y el diacetilfloroglucino]; sustancias inhibidoras [antibióticos, sideróforos, enzimas líticas (celulasas, beta-1,3 glucanasas, proteasas y lipasas], metabolitos antifúngicos [fenazinas, pyrrolnitrina, 2,4-diacetilfloroglucinol, pyoluteorina, visconinamida y tensinas; además de enzimas como peroxidasas, oxidasa polifenol y la fenilalanina amonioliasa]), controladores de estrés (regulación de los niveles de etileno en los vegetales), resistencia sistemática inducida y compuestos orgánicos volátiles (p. 25-28).

El Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI, 2020) enfatiza que los mecanismos de control biológico de la microbiota edáfica benéfica que regulan a los fitopatógenos fúngicos o bacterianos incluyen:

Antibiosis, parasitismo, sideróforos y resistencia inducida, principalmente. Antibiosis: este mecanismo consiste en que la bacteria coloniza las raíces en crecimiento y libera moléculas antibióticas alrededor de la raíz, perjudicando así a los patógenos próximos al órgano. (...). Competencia: Es de los mecanismos más conocidos, donde los microorganismos de control biológico actúan compitiendo por los nutrientes y espacio disponible alrededor de la raíz. (...). Sideróforos: la producción de estos metabolitos permite a los microorganismos considerados como agentes de control biológico competir contra los patógenos, especialmente porque los compuestos secretados quelatan la mayor parte de hierro (Fe_3^+), disminuyendo su disponibilidad para otros microorganismos. Resistencia sistémica inducida (ISR): Muchos productos bacterianos inducen el sistema de señalización, lo cual puede resultar en la protección de toda la planta contra las enfermedades causadas por diferentes organismos. (párr. 4)

En este capítulo se analizan la diversidad y las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC g^{-1}) de suelo de los géneros de los actinomicetos, bacterias y hongos; su funcionalidad, sus relaciones simbióticas con los vegetales, entre los géneros que conforman la microbiota edáfica y la macrofauna, y sus posibles contribuciones a los servicios ecosistémicos, en seis agroecosistemas, localizados en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz. Adicionalmente, se propone una perspectiva sobre la colección *ex situ*, caracterización metabólica y utilidad de la microbiota edáfica nicaragüense.

5.1. Diversidad y unidades formadoras de colonias

En el cuadro 5.1 se presentan la frecuencia absoluta de identificación por género ($F_i=n$), por grupo ($\sum F_{ig}$) y total de las frecuencias absolutas de identificación por género ($\sum F_{it}=N$), así como los promedios de las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC g^{-1}) de suelo por género identificado, la sumatoria de UFC por gramo de suelo de los géneros identificados por grupo y la sumatoria total de UFC por gramo de suelo de los géneros identificados, en el respectivo agroecosistema. En los seis agroecosistemas, se identificaron un total de 20 géneros de la microbiota edáfica, de los cuales uno pertenece al grupo de los actinomicetos, tres al de las bacterias y 16 al de los hongos (Cuadro 5.1). Los seis agroecosistemas tienen en común el único género de actinomicetos (*Streptomyces sp*), los tres del grupo de las bacterias (*Bacillus sp*, *Pseudomonas sp* y *Sarcinas sp*) y cuatro del grupo de los hongos (*Aspergillus sp*, *Paecilomyces sp*, *Penicillium sp* y *Trichoderma sp*), que indica que estos ocho géneros de la microbiota edáfica tienen una mejor plasticidad para adaptarse a diferentes usos de suelo y manejos antrópicos en cada agroecosistema.

También, estos resultados permiten aseverar que los hongos, en estos agroecosistemas, son más diversos que las bacterias y éstas más diversas que los actinomicetos. Este hallazgo contradice lo afirmado por González Toro (2015) que afirma que las bacterias son las más diversas en cuanto al número de especies y su comportamiento (p. 12). Los géneros de las bacterias *Bacillus sp* y *Pseudomonas sp* tienen más probabilidad de ser identificadas en un gramo de suelo, porque estas gozan de las mayores frecuencias absolutas de identificación por género, en el concerniente agroecosistema (Cuadro 5.1).

En los agroecosistemas de La Azucena, se determinó una mayor frecuencia absoluta total de identificación ($\sum \text{Fit} = N$) de los géneros de la microbiota edáfica (242 y 200), debido a que en estos agroecosistemas hay más lotes o parcelas y por consiguiente se tomó un mayor número de muestras (30 y 33 vs 12 muestras)-.

El uso del suelo y el manejo antrópico en los agroecosistemas influyó sobre la actividad metabólica y enzimática de la macrobiota edáfica. Los agroecosistemas con una mayor actividad metabólica y enzimática de la macrobiota edáfica son Los Mangos y El Mono, porque en éstos se identificó la mayor diversidad de géneros y se cuantificaron los mayores valores totales de las UFC g^{-1} de suelo. En estos agroecosistemas se identificaron un total de 16 de géneros de la microbiota edáfica y se determinaron un total de $1.278\text{E}+6$ UFC g^{-1} y de $2.096\text{E}+6$ UFC g^{-1} de suelo, respectivamente. En el primer agroecosistema, los hongos lograron alcanzar $9.0\text{E}+5$ UFC g^{-1} de suelo, que representa el 70% UFC g^{-1} de suelo. Este grupo de microorganismos presentó los mayores valores de UFC g^{-1} de suelo en las parcelas con granos básicos y pastos natural y mejorado (Cuadro 1.2 y 1.3). Por el contrario, en el segundo agroecosistema, el grupo de las bacterias logró $1.965\text{E}+6$ UFC g^{-1} de suelo, que representa el 93.7% del total de las UFC g^{-1} de suelo. En este agroecosistema, el grupo de las bacterias tiene mejores condiciones para su sobrevivencia y reproducción en las parcelas con pasto Retana (*Ischaemum ciliar* Retz) y cacao (*Theobroma cacao* L.). En los pastizales, el ganado bovino permanece todo el año, porque es de doble propósito, lo que no ocurre en Jardín del Edén, porque el propósito del propietario, de este último agroecosistema, es de desarrollo o de engorde, y no lo pastorea durante los tres meses del periodo seco. El sistema agroforestal con cacao facilita la reproducción del grupo de las bacterias, porque hay mucha diversidad de árboles de sombra, que proporciona junto con la hojarasca del cacao, diversidad de biomasa vegetal o fitomasa.

En los seis agroecosistemas, el único género identificado de actinomicetos es *Streptomyces sp* (Cuadro 5.1). Este género se reproduce mejor en el agroecosistema Jardín del Edén, en La Azucena, y en los agroecosistemas El Recuerdo y Los Reyes, en Los Chiles. En el agroecosistema de La Azucena, se registraron $1.195\text{E}+5$ UFC g^{-1} de suelo, que representa el mayor valor promedio de UFC g^{-1} de suelo. Este agroecosistema se caracteriza por presentar una gran diversidad de especies arbóreas forestales, que garantiza una suculenta diversidad de biomasa vegetal, lo que puede estimular a que este género de actinomicetos tenga mejores condiciones para su sobrevivencia y reproducción.

En los agroecosistemas El Recuerdo y Los Reyes se contabilizaron 72200 ($7.22 \text{ E}+4$) y 80000 ($8.0 \text{ E}+4$) UFC g^{-1} de suelo, respectivamente. En ambos agroecosistemas hay el mayor porcentaje de su superficie para el pastoreo extensivo del ganado bovino de doble propósito, durante todo el año, que favorece al establecimiento y reproducción de los actinomicetos. En el agroecosistema El Recuerdo, el porcentaje de su superficie para el pastoreo extensivo de ganado bovino en los pastizales (mejorado y natural) es de 82% (4.9 y 9.45 ha), mientras que en el agroecosistema Los Reyes ese porcentaje corresponde al 86.6%, pero solo de pasto natural (22.5 ha). En los otros dos agroecosistemas ese porcentaje oscila entre 50.4 y 55%.

En los seis agroecosistemas se identificaron solo tres géneros de bacterias (Cuadro 5.1). Este grupo de la microbiota edáfica expresa mejor su potencial de UFC g^{-1} de suelo en los agroecosistemas de La Azucena (El Mono y Jardín del Edén) y en el agroecosistema Los Reyes, en Los Chiles. Las mayores UFC g^{-1} de suelo se contabilizaron en el agroecosistema El Mono ($1.965\text{E}+6$). En este agroecosistema, el pastoreo extensivo del ganado bovino durante todo el año y el aporte de una variada biomasa vegetal por parte de la flora arbórea contribuye a que este grupo de la microbiota edáfica tenga mejores condiciones de sobrevivencia, crecimiento y reproducción. En los agroecosistemas Jardín del Edén y Los Reyes se registraron $8.571\text{E}+5$ y $7.911\text{E}+5$ de UFC g^{-1} de suelo, respectivamente, cantidades que duplican a los promedios de las UFC g^{-1} de suelo contabilizadas en los tres restantes agroecosistemas (Cuadro 5.1), cuyos subtotales de UFC g^{-1} de suelo oscilan entre $3.369\text{E}+5$ (336973) y $3.474\text{E}+5$ (347460). En el agroecosistema Jardín del Edén se garantiza una variada biomasa vegetal de las especies arbóreas existentes y en el agroecosistema Los Mangos no se cultivan granos básicos, lo que puede favorecer al establecimiento y reproducción de las bacterias.

Hinestroza Vásquez & Caicedo Cuero, (2018) determinaron la abundancia de grupos funcionales de microorganismos del suelo bajo cuatro sistemas de manejo agroecosistémicos del municipio de Palmira (Valle del Cauca) y contabilizaron un total de UFC g^{-1} de suelo de bacterias, que osciló entre $1.1\text{E}+6$ y $1.1\text{E}+7$ (p. 40), que, en comparación con los estimados en este estudio, ese valor es superado únicamente por las UFC g^{-1} de suelo del agroecosistema El Mono.

En el Cuadro 5.1 se muestran los promedios de las UFC g^{-1} de suelo de los respectivos géneros de hongos. Las sumatorias de los promedios de las UFC g^{-1} de suelo de los géneros de los hongos oscilaron entre $6.323\text{E}+4$ (63233) y $9.0\text{E}+5$ (900264), valores superiores a los reportados por Hinestroza Vásquez & Caicedo Cuero, (2018) al evaluar la abundancia ($1.0\text{E}+4$ y $1.7\text{E}+5$) de grupos funcionales de microorganismos del suelo bajo cuatro sistemas de manejo agroecosistémicos (p. 41).

En total se identificaron 16 géneros de hongos, de los cuales, cuatro presentan la mejor plasticidad de adaptación al uso del suelo y a los efectos antrópicos, dado que éstos se identificaron en los seis agroecosistemas. Estos géneros fúngicos son *Aspergillus sp*, *Paecilomyces sp*, *Penicillium sp* y *Trichoderma sp* (Cuadro 5.1). Los géneros *Fusarium sp*, *Mucor sp* y *Verticillium sp*, se identificaron en cinco agroecosistemas, *Rhizopus sp* y *Torula sp* en cuatro agroecosistemas, *Pythium sp* en tres y los géneros *Levaduras sp* y *Monilia sp* en dos agroecosistemas. Los restantes cuatro géneros (*Alternaria sp*, *Colletotrichum sp*, *Didymustilbe sp* y *Macrophomina sp*) se identificaron en un solo agroecosistema, de modo que estos últimos géneros y los dos anteriores tienen una frecuencia absoluta de identificación inferior a cuatro, por lo que su probabilidad de ser identificados en una muestra de suelo de estos agroecosistemas es inferior al 2% ($1.35\% = 11/813$).

5.2. Funcionalidad de la microbiota edáfica en los agroecosistemas

Los actinomicetos pueden ser considerados en el suelo como agentes de control biológico natural y como promotores del crecimiento vegetal (González Jiménez, 2010, p. 12 y 15). En el primer caso, la supresión de patógenos se provoca en el suelo por antagonismo y por producir metabolitos primarios, secundarios y enzimas extracelulares (Yücel & Yamaç, 2010, p. 6). Man-hong *et al.* (2006) constataron que los actinomicetos producen metabolitos nematocidas, que regulan poblaciones del nemátodo *Meloidogyne spp*, y este afecta el rendimiento de los cultivos de hortalizas, plantas medicinales, oleaginosas, frutales y tabaco (p. 22-28). Además, los actinomicetos controlan otros tipos de patógenos como: *Alternaria sp*, *Fusarium sp*, *Phytophthora sp*, *Rhizoctonia sp*, *Colletotrichum lindemuthianum* (Ezziyyani *et al.*, 2004, p. 70; Sánchez-Ovalle *et al.*, 2011, p. 17; Dávila Medina *et al.*, 2013, p. 1187; Reyes Tena *et al.*, 2015, p. 10), *Cladosporium fulvum* Cooke, (Bressan & Figueiredo, 2005, p. 623), *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi y *Pectobacterium carotovorum* (Pérez Rojas *et al.*, 2015, p. 116) entre otros, reportados en la literatura científica.

Hamdali *et al.* (2008a) constataron que el grupo de los actinomicetos es multifuncional. Este grupo de microorganismo, como promotores del crecimiento vegetal se destaca como agentes controladores de patógenos del suelo (efecto indirecto), así como mediante la síntesis de quitinasas, producción de ácido indolacético (AIA), giberelinas, sideróforos (efecto indirecto y directo) y solubilización de fosfatos (efecto directo) (p. 2573). Ningthoujam *et al.* (2009) aseveran que el grupo de los actinomicetos son una alternativa para el biocontrol de *Curvularia oryzae* Bugnic., *Pyricularia oryzae* Bugnic., *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker y *Fusarium oxysporum* Schildt., en arrozales (p. 737). Actualmente, hay en el mercado biocontroladores con fines agrícolas con ingredientes activos a base de especies de actinomicetos.

El género *Streptomyces sp* es rizosférico, y entre sus funcionalidades directas en el suelo está la solubilizando del fósforo, la síntesis de AIA, metabolito que influye en el aumento del número y tamaño de las raíces; y de forma indirecta es antagonístico (Himamana *et al.*, 2016, p. 42), es decir que contribuye a la biofertilización, fitoestimulación y biocontrol. Robles-Hernández *et al.* (2015) reportan que entre “Los mecanismos asociados al efecto antagonístico de *Streptomyces sp.* sobre especies de *Fusarium* han sido descritos previamente en varios cultivos, los cuales incluyen: la generación de antibióticos, competencia por nutrientes, producción de sideróforos y micoparasitismo” (p. 259). En estudios *in vitro* se detectó que *Streptomyces cirratus* Koshiyama, adicional a la capacidad de solubilizar fósforo inorgánico, también puede fijar nitrógeno atmosférico en forma de amonio, que se reflejó en un incremento en el tamaño del vástago, del peso seco, del diámetro del bulbo y del tamaño de la raíz del ajo (*Allium sativum* L.) (Condori-Pacsi *et al.*, 2019, p. 109). El incremento del tamaño de la raíz conlleva a un incremento del área radicular lo que aumenta el área de absorción de agua y nutrientes.

El fósforo es indispensable para el crecimiento vegetal, pero en la naturaleza este elemento se encuentra en su forma insoluble. Franco-Correa *et al.* (2010) reportan cepas de *Streptomyces* que tienen la capacidad de solubilizar el fósforo tricálcico (Efecto directo), a través de acidificación del medio y cepas solubilizadoras que no acidifican el medio de cultivo (p. 214). Soriano-Bernilla & Soriano-Bernilla (2010) reportan que existen géneros de actinomicetos que han sido considerados para la biotransformación y biodegradación de pesticidas, entre los cuales está el género *Streptomyces sp* (p. 36-37).

Hamdali *et al.* (2008b) demostraron en condiciones de invernadero que *Streptomyces sp* promueve significativamente el crecimiento de trigo, que se reflejó en el mayor peso de brotes y raíces, producto de sus múltiples funciones como promotor del crecimiento de los vegetales, al solubilizar el fósforo y a través del biocontrol de patógenos del suelo (p. 510). Diferentes autores reportan que los mecanismo de acción de *Streptomyces sp* como biocontrolador son a través de antagonismo, micoparasitismo, la producción de enzimas, sideróforos y antibióticos y otros compuestos bioactivos, que inhiben la germinación y el crecimiento de algunos microorganismos fitopatógenos fúngicos y bacterianos (Yücel & Yamaç, 2010, p. 6; Sánchez-Ovalle *et al.*, 2011, p. 15; Reyes Tena *et al.*, 2015, p. 2).

Las bacterias son organismos procariotas, en su mayoría de vida libre y muy plásticas para adaptarse a cualquier ecosistema terrestre, que incluye a los agroecosistemas. Al igual que en el grupo de los actinomicetos, en el grupo de las bacterias hay géneros que logran estimular el crecimiento de los vegetales y pueden contribuir a optimizar los servicios ecosistémicos de apoyo o soporte, aprovisionamiento, de regulación y culturales.

Hinestroza Vásquez & Caicedo Cuero, (2018) aborda a las bacterias en dos grupos funcionales. Estos son: 1) Las bacterias que participan en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno (N_2) que están conformadas por: a) Bacterias de vida libre, que pueden ser anaerobias o aerobias, y son fijadores de nitrógeno, b) Bacterias asimbióticas fijadoras de N_2 , que facilitan al suelo el intercambio y efecto orgánico que está relacionada estrecha, y permanentemente entre organismos de distintas especies. Necesitan de otra célula u organismo para poder sobrevivir, y los únicos organismos que tienen un catalizador que reduce el N_2 a amonio y c) Bacterias nitrificantes, que en las membranas de este tipo de bacterias se sitúa la enzima clave de la oxidación del amoníaco (NH_3), la monooxigenasa, que oxida el NH_3 hasta la hidroxilamina (NH_2OH), este último es oxidado al anión nitrito (NO_2^-), mediante el ejercicio de otra enzima en la hidroxilamina, la oxidoreductasa, vigente en el periplasma de las bacterias nitrificantes y 2) Las bacterias que participan en el ciclo biogeoquímico del fósforo (P), que tienen la capacidad de solubilizarlo, que son de gran importancia, ya que el almacenamiento de este elemento logra ser manejado por las plantas y coloca de ostensible la importancia del papel de los microorganismos en la transformación del P orgánico como unidad mixta en los residuos vegetales y en la materia orgánica del suelo, a formas inorgánicas beneficiosos por las plantas; estas bacterias son activas en la eficiencia del fósforo del suelo, haciendo parte ineludible de su duración, y medio para las vegetaciones (p. 19-22). También, existen géneros de bacterias que son antagónicas contra hongos fitopatógenos edáficos (Palafox, 2019, p. 57).

Benjumeda Muñoz (2017) agrupa a las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal a las que interactúan con los vegetales a nivel extracelular e intracelular. La primera acontece en el exterior de la rizósfera, entre las células del córtex de la raíz, y la segunda al interior de esta. Si el mecanismo de acción de la rizobacteria ocurre dentro de la planta el efecto es directo, como la fijación del nitrógeno atmosférico, que puede ser simbiótica y no simbiótica (bacterias diazótrofes), la solubilización del fósforo y la producción de fitohormonas. Por el contrario, si el mecanismo de acción sucede fuera de la planta los efectos son indirectos. Entre los mecanismos indirectos están la producción de sideróforos (metabolitos secundarios) de quitina y glucanasa (Enzimas líticas), de antibióticos, de cianuro de hidrógeno y amoníaco (p. 8-18).

Los tres géneros identificados del grupo de las bacterias, en orden de importancia, por su frecuencia absoluta de identificación ($Fi=n$) y por sus promedios de UFC g^{-1} de suelo son *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp* y *Sarcinas sp* (Cuadro 5.1). Los dos primeros géneros, expresaron mejor su potencial de UFC g^{-1} de suelo en el agroecosistema El Mono y Jardín del Edén (La Azucena) y en el agroecosistema Los Reyes (Los Chiles). El género *Sarcinas sp* tiene mejores condiciones para formar UFC g^{-1} de suelo en los agroecosistemas de La Azucena.

Bacillus sp y *Pseudomonas sp* son bacterias diazotróficas de vida libres en el suelo, que colonizan competitivamente las raíces de los vegetales y favorecen directa o indirectamente el enraizamiento y crecimiento de las plantas (Gaviria-Giraldo *et al.*, 2017, p. 25; Pérez *et al.*, 2015, p. 23).

Ambos géneros son bacterias fijadoras del N atmosférico, solubilizan fósforo (P) y Zinc (Zn), producen fitohormonas, siderófonos, encimas líticas y antibióticos, convierten el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato y solubilizan el potasio (K) mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen (Tejera-Hernández *et al.*, 2013, p. 362; Corrales Ramírez *et al.*, 2014a, p. 176; Corrales Ramírez *et al.*, 2014b, p. 73; Rubio Zavaleta, 2017, p. 23; Aguado-Santacruz *et al.*, 2012, p. 12; Matilla & Krel, 2017, p. 15; Delgado Higuera, s.f., p. 8).

Benintende (2016) enumera 14 especies del género *Bacillus* con potencial para promover el crecimiento vegetal y algunas de estas están registradas en la Agencia de Protección Ambiental de USA como biocontroladoras, productoras de fitohormonas y solubilizadoras de fósforo (p. 47). Valverde & Ferraris (2016) destacan que el género *Pseudomona* es taxonomicamente complicado y cambiante y reportan que se han aislado siete especies de este género con potencial para promover el crecimiento de los vegetales, principalmente, para biocontrol, la reducción de niveles de etileno provocados por estrés y el aumento de la disponibilidad de fósforo; y describen 14 formulaciones elaboradas por compañías de Suecia, USA, India y Argentina, que declaran contener a este género como principio activo (p. 23-29).

Una práctica agronómica muy común consiste en la aplicación fraccionada de la urea, que se hidroliza en el suelo y los géneros de bacterias *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp* y *Sarcina sp*, actúan al producir la enzima ureasa para su solubilización. Delgado Higuera (s.f.) afirma que la ureasa:

es producida por las bacterias, actinomicetos y hongos. Con la reacción de la enzima, la urea se transforma en amonio y se fija a los complejos minerales del suelo donde luego es nitrificado por los microorganismos. Las urobacterias son aerobias y actúan con la alcalinización que causa la urea al aplicarse al suelo. Los géneros más importantes son: *Bacillus*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Acromobacter* y *Sarcina*. En suelos con poca fertilidad y una población baja de microorganismos la asimilación del amonio o su nitrificación es mínima y por lo tanto se necesitan aplicaciones frecuentes de urea para suplir las necesidades de nitrógeno en un cultivo establecido. El restablecimiento de una flora microbiana permite una mayor asimilación del nitrógeno por las plantas y por lo tanto la cantidad a utilizar puede ser menor. (p. 6)

Existen géneros de actinomicetos y de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas que se han utilizado para la bioremediación o fitorremediación para contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados y plaguicidas en el suelo, que es un proceso que implica la eliminación de agentes contaminantes de sitios contaminados por interacción mutua de las raíces de plantas y poblaciones microbianas adecuadas que ocurren en la rizosfera, y es considerada como el proceso de biorremediación más evolucionado (Saez *et al.*, 2018, p. 46; Ahemad & Kibret, 2014, p. 16; Glick, 2010, p. 367; Kuiper *et al.*, 2004, p. 10 y 12).

Los principales metales pesados contaminantes en el suelo, agua y alimentos son plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), mercurio (Hg), zinc (Zn), arsénico (As), oro (Au), cobre (Cu) y níquel (Ni) (Reyes *et al.*, 2016, p. 74; Puga *et al.*, 2006, p. 154; Cuevas & Walter, 2004, p. 67). Especies del género de *Streptomyces sp* tienen la capacidad de descontaminar el suelo de Zn y de *Bacillus sp* y *Pseudomonas sp* se han utilizado en la rizorremediación de los metales pesados Pb y Cu (Benjumeda Muñoz, 2017, p. 27).

Los hongos metabolizan compuestos carbonados de muy difícil degradación como las celulosas, las hemicelulosas y las ligninas. También degradan azúcares simples, alcoholes, aminoácidos y ácidos nucleicos. Pueden ser parásitos o saprófitos. Son muy importantes en suelos con desechos de cosecha. Su crecimiento ramificado rápido y la intensa actividad degradadora les permiten mantener un equilibrio en el suelo. (Delgado Higuera, s.f., p. 4)

La nitrificación es, por lo general, un proceso bacterial y aeróbico. El nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-) se encuentran en la solución del suelo, mientras que el amonio (NH_4^+ , catión) se encuentra como intercambiable o fijado a la estructura de algunos minerales. Sin embargo, hay otros microorganismos que también oxidan los substratos nitrogenados a nitritos y nitratos (Delgado Higuera, s.f., p. 6). Los microorganismos identificados que oxidan los substratos nitrogenados a nitritos y nitratos son el actinomiceto nitrificador *Streptomyces sp*, las bacterias de los géneros *Bacillus sp* y *Pseudomonas sp*, y los hongos *Aspergillus sp* y *Penicillium sp*, todos estos géneros se identificaron en los seis agroecosistemas.

Los géneros de hongos *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Rhizopus sp*, *Alternaria sp*, *Mucor sp* y *Levaduras sp* degradan ácidos nucleicos y glicerofósforos a fosforos simples (P). También, los tres primeros géneros (*Aspergillus sp*, *Penicillium sp* y *Rhizopus sp*) solubilizan fosforos tricálcicos y rocas fosfóricas (Delgado Higuera, s.f., p. 7 y Moratto *et al.*, 2005, p. 305).

El potasio es retenido por los constituyentes del suelo, pero solo una parte es soluble y otra gran fracción se fija quedando no intercambiable. (...) los géneros *Aspergillus sp*, *Penicillium sp* y *Mucor sp* solubilizan el potasio [K] mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. (Delgado Higuera, s.f., p. 8)

Trichoderma sp es un género de hongos que se identificó en los seis agroecosistemas y se desempeña como controlador biológico de huevos y adultos de nemátodos; mantiene la humedad en el sistema radicular en condiciones de sequía, y se ha utilizado en la biorremediación de suelos (Baños *et al.*, 2010, p. 231; Cano, 2011, p. 15 y 17; Mendoza *et al.*, 2013, p. 6). Este género de hongos induce a la resistencia sistémica de los vegetales, mejora la absorción y solubilidad de los nutrientes del suelo, el desarrollo de raíces aumenta la producción de pelos radicales y el enraizamiento es más profundo (Harman *et al.*, 2004, p. 147 y Harman, 2006, p. 190). Los modos de acción de este género de hongo son microparasitismo, antibiosis, competencia, promotores de desarrollo vegetativo, estimulador de los mecanismos de defensa de los vegetales, facilitador de la solubilización y absorción de nutrientes y biorremediador de suelos (Castro-Toro & Rivillas-Osori, 2012, p. 6-13).

Otro género de hongos que se identificó en los seis agroecosistemas es *Paecilomyces sp*. Este género parasita huevos de nematodos, juveniles y adultos y a los móviles que se localizan fuera de las raíces, y reduce sus poblaciones (Monzón *et al.*, 2009, p. 3 y 4). Actualmente, en Nicaragua se ofertan formulaciones con ingredientes activos de *Paecilomyces sp* y de *Trichoderma sp*, que son utilizadas para el control biológico.

Cuadro 5.1. Frecuencia absoluta de identificación por género (Fi=n), frecuencia absoluta de identificación por grupo (Σ Fig), frecuencia absoluta total de identificación (Σ Fit=N), promedio de UFC g⁻¹ de suelo por género, subtotal de los promedios de UFC g⁻¹ de suelo por grupo y total de los promedios de UFC g⁻¹ de suelo de la microbiota edáfica, en los agroecosistemas de las comunidades de Los Chiles y La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua

Grupos	Géneros	Agroecosistemas									
		Los Chiles					La Azucena				
		El Recuerdo		La Palma		Los Reyes		Los Mangos		El Mono	
		Fi=n	UFC g ⁻¹ de suelo	Fi=n	UFC g ⁻¹ de suelo	Fi=n	UFC g ⁻¹ de suelo	Fi=n	UFC g ⁻¹ de suelo	Fi=n	UFC g ⁻¹ de suelo
Actinomicetos	<i>Streptomyces</i> sp	5	72200	9	33556	7	80000	8	41500	23	54783
Sub total: Σ Fi=n	Σ UFC g ⁻¹ de suelo por grupo	5	72200	9	33556	7	80000	8	41500	23	54783
Diversidad actinomicetos		1		1		1		1		1	
Bacterias	<i>Bacillus</i> sp	26	118038	25	124560	23	313478	24	93958	58	701034
	<i>Pseudomonas</i> sp	14	103929	10	89100	15	389333	17	101765	40	893500
	<i>Sarcinas</i> sp	14	116714	5	133800	6	88333	8	141250	21	370476
Sub total: Σ Fi=n	Σ UFC g ⁻¹ de suelo por grupo	54	338681	40	347460	44	791145	49	336973	119	1965011
Diversidad bacterias		3		3		3		3		3	
Hongos	<i>Alternaria</i> sp*	8	133750	5	134000	10	43200	8	126875	16	10250
	<i>Aspergillus</i> sp					1	1000				
	<i>Colletotrichum</i> sp*										
	<i>Didymostilbe</i> sp							1	100000		
	<i>Fusarium</i> sp*	7	163285.7			2	2000	2	7000	7	5000
	<i>Levaduras</i> sp					1	10000			1	1000
	<i>Macrophomina</i> sp									2	11000
	<i>Monilia</i> sp*					1	10000	3	27000		
	<i>Mucor</i> sp			2	2500	6	21500	4	32250	3	2000
	<i>Pasclomyces</i> sp	2	51000	2	40000	2	5500	4	156250	14	5429
	<i>Penicillium</i> sp	13	83230.77	7	57714	12	31750	9	231556	25	13080
	<i>Pythium</i> sp*			2	45000					2	5500
	<i>Rhizopus</i> sp	1	2000	7	188857			1	3000	2	2000
	<i>Tonilia</i> sp									2	3250
	<i>Trichoderma</i> sp	1	10000	1	10000	6	15833	6	61333	2	5500
	<i>Verticillium</i> sp*	6	137667	6	173500			4	135000	16	7813
Sub total Σ Fi=n	Σ UFC g ⁻¹ de suelo por grupo	38	580933	32	651571	41	140783	44	900264	100	77171
Diversidad hongos		7		8		9		12		12	
Diversidad total de la microbiota edáfica		11		12		13		16		16	
Total: Σ Fi=n	Σ UFC g ⁻¹ de suelo	97	991814	81	1032587	92	1011928	101	1278737	242	2096964
										200	1039885

*: También pueden ser patógenos

El hongo *Verticillium sp*, se identificó en cinco agroecosistemas y es uno de los hiperparásitos más comunes de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broom), y se ha utilizado para el control biológico de este hongo (Canjura-Saravia *et al.*, 2002, p. 19). Actualmente, ese cultivo no está establecido en estas dos localidades (Los Chiles y la Azucena), pero se está promoviendo el establecimiento de plantaciones de café Robusta (*Coffea canéphora* L.) en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz.

Las *Levaduras sp* “son importantes fermentadoras de carbohidratos produciendo alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía.” (Delgado Higuera, s.f., p. 4). Estas pueden encontrar esporádicamente en el agroecosistema Los Reyes.

Hay que tener mucho cuidado con los géneros *Verticillium sp*, *Fusarium sp*, *Monilia sp*, *Alternaria sp* y *Pythium sp*, porque se pueden convertir, en el futuro, en patógenos muy severos para las plantas cultivadas. El primer y segundo género se encontró en cinco agroecosistemas, el tercero en dos y los otros dos géneros solo en un agroecosistema, por lo que actualmente estos tres últimos géneros no se pueden considerar un problema fitosanitario.

De lo antes expuesto se puede inferir, que el uso del suelo y el manejo antrópico en los agroecosistemas, no solo influye sobre la actividad metabólica y enzimática de la microbiota edáfica, si no que esta influye sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Las primeras consisten, principalmente, en la solubilización de nutrientes y la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Referente al aporte de la microbiota edáfica a las propiedades físicas de los suelos, Umer & Rajab (2012) evaluaron la correlación entre la estabilidad de los agregados del suelo y su actividad microbiológica y constataron que:

Los microorganismos son los principales agentes de estabilización de los agregados. Tanto los hongos como las bacterias contribuyen a la estabilización de los agregados del suelo a través de la deposición de polisacáridos extracelulares y la formación de materiales húmicos aromáticos degradados que forman complejos arcilla-metal polivalente-materia orgánica. (...). Todos los parámetros de actividad microbiológica tienen una relación positiva con estabilidad de los agregados del suelo. (p. 45)

Al respecto, Martínez-Rodríguez *et al.* (2017), en el marco del proyecto CASCADA (Adaptación basada en Ecosistemas para Pequeños Productores en Centroamérica) elaboraron el módulo tres para el fortalecimiento de capacidades técnicas en materia de adaptación de la agricultura al cambio climático y resaltan las funciones de los microorganismos en la estructura del suelo que son:

- Producción de compuestos orgánicos que unen y estabilizan estructuralmente los agregados.
- Creación de relaciones estructurales a través de interacciones con microflora.
- Creación de bioporos, los cuales propician la infiltración del suelo y la humificación.
- Mezcla de partículas minerales y orgánicas, redistribución de la materia orgánica a través de movimientos (de insectos y de lombrices). (p. 23)

Finalmente, se puede afirmar que el aporte de la microbiota edáfica a las propiedades biológicas de los suelos se atribuye a la autorregulación de sus poblaciones, la regulación de las poblaciones de la meso y macrofauna edáfica, y a través de diferentes relaciones simbióticas de esta con la macrobiota de los agroecosistemas, que se explica en el acápite siguiente.

5.3. Relaciones simbióticas de la microbiota edáfica en los agroecosistemas

Se ha demostrado que al interior del suelo acontecen relaciones muy íntimas entre las raíces de los vegetales y la microbiota edáfica, sin embargo, estas no siempre son positivas. Desde el punto de vista ecológico, a estas relaciones se les denomina simbiosis, que es:

Una relación estrecha y persistente entre organismos de distintas especies, cuyo vínculo es significativo para el bienestar de al menos uno de los asociados, denominados simbioses. Dependiendo del tipo de relación entre los organismos o simbioses, la simbiosis puede tomar diferentes nombres. El parasitismo es aquella interacción en que uno solo de los simbioses se beneficia a expensas del otro, (...). En el comensalismo, un simbiote se beneficia, mientras el otro permanece inalterado, es decir no vive a expensas del otro, justo como harían un par de comensales al compartir un vasto banquete. Por último, el mutualismo se refiere a la simbiosis en la que ambos individuos resultan beneficiados. (Martínez Medina & Ramírez Romero, 2011, p. 54)

En estos agroecosistemas, el parasitismo de los géneros de la microbiota edáfica hacia los vegetales podría ocurrir a lo interno del suelo, como es el caso de los géneros *Fusarium* y *Pythium*, que son hongos patógenos de las raíces (Rodríguez Guzmán, 2001, p. 53). En orden de importancia, el primer género es más relevante, dado que este se identificó en cinco agroecosistemas y el segundo en tres (Cuadro 5.1).

Los propietarios de estos agroecosistemas han establecidos árboles frutales y puede darse un parasitismo, si los géneros que no son fitopatógenos para las raíces, pasan a la filosfera, frutos, ramas o fustes de los árboles frutales, es decir relaciones simbióticas en el exterior del suelo. Entre estos frutales se encuentra el aguacate (*Persea americana* L.), que puede ser afectado por especies de los géneros *Verticilium* sp (Marchitez del aguacatero), y *Rhizopus* sp (Pudrición del fruto) (Tamayo Molano, 2007, p. 57 y 61).

Estos dos géneros de la microbiota edáfica se identificaron en cinco y cuatro agroecosistemas, respectivamente. Otro género que puede causar daños a los frutos de aguacate, guayabas (*Psidium guajava* L.), guanábanas (*Annona muricata* L.) (Antracnosis) y a los cítricos (*Citrus* sp) y puede ocasionar caída de pos floración es el *Colletotrichum* (Aguilera-Arango *et al.*, 2020, p. 853; Trinidad-Ángel *et al.*, 2017, p. 3954; Rodríguez-Dopazo *et al.*, 2010, p. 68), pero este se identificó únicamente en el agroecosistema Los Reyes con un promedio de $1.0E+3$ de UFC g^{-1} de suelo. También, *Colletotrichum* sp puede ocasionar daños a las hojas, tallos y vainas de frijol (Instituto Nacional Tecnológico [INATEC], 2017, p. 28), cultivo muy importante para la seguridad alimentaria y nutricional de los nicaragüenses.

Los cítricos pueden ser infectados por los géneros de *Penicillium* sp (Moho azul y moho verde) y *Alternaria* (Ayres, 2001, p. 9). Este último género se identificó en el agroecosistema Los Mangos, y el segundo en los seis agroecosistemas, en los cuales los agricultores han plantado árboles de cítricos para autoconsumo y/o para la venta. *Monilia* sp es otro género fungico que puede causar daños a las mazorcas del cacao (*Theobroma cacao* L.), género que se identificó en los agroecosistemas Los Reyes y Los Mangos, cuyos promedios de UFC g^{-1} de suelo no exceden a las $2.7E+4$ (Cuadro 5.1).

Relaciones en las que uno de los simbioses se beneficia a expensas del otro surgen entre los diferentes géneros de la microbiota edáfica, cuando estos se controlan unos a otros mediante diferentes mecanismos como parasitismo, antagonismo, competencia, producción de antibióticos y sideróforos. Asimismo, estas relaciones, en el que uno de los simbioses es perjudicado resulta de los géneros *Trichoderma* sp y *Paecilomyces* sp, que parasitan huevos, juveniles y adultos de nemátodos, y a los adultos móviles que se localizan fuera de las raíces.

Relaciones muy íntimas entre las raíces de los vegetales y la microbiota edáfica, y ambos simbioses se benefician, surgen al promover el crecimiento y desarrollo de los vegetales por parte de los microorganismos benéficos mediante el biocontrol, la fitoestimulación y la biofertilización. Por su parte, los vegetales, exudan sustancias orgánicas de sus sistemas radiculares que contribuyen a la sobrevivencia, reproducción y crecimiento de los microorganismos benéficos.

Otro tipo de relaciones mutualistas íntimas que acontecen en los ecosistemas y agroecosistemas entre la microbiota edáfica y la macrofauna es la ectosimbiosis y endosimbiosis. Un ejemplo de una relación mutualista ectosimbiótica es entre las hormigas cortadoras de hojas y *Streptomyces* sp. Estas hormigas pertenecen a la familia Formicidae, que se identificó en los agroecosistemas de La Azucena y de Los Reyes (Vea capítulo IV).

Estos hongos se benefician de la asociación porque son propagados vegetativamente y las hormigas los cultivan para alimentar a sus crías. Esta relación mutualista ectosimbiótica fue comprobada por Gutierrez Espinoza (2017) al identificar el género *Streptomyces sp* de muestras procedentes de las cutículas de hormigas cortadoras de hojas (p. 78).

La relación mutualista entre géneros de la microbiota edáfica y las lombrices de tierra es endosimbiótica. Esta relación fue objeto de estudio por Préz Montes & Torres Zavaleta (2019), quienes confirmaron que gran parte de la microbiota del intestino de la lombriz de tierra es capaz de trabajar y transformar componentes propios de los residuos orgánicos, convirtiéndolos en productos para diferentes aplicaciones, resaltando el área agrícola. Estos autores identificaron dos especies del género *Bacillus* procedentes del humus de esta representante de la familia Lumbricidae (p. 1 y 34). Este género de bacteria se identificó en los seis agroecosistemas y se constató la presencia de lombrices de tierra en todos los agroecosistemas (Vea capítulo III y IV).

En estos agroecosistemas y sus alrededores existen árboles de cítricos, mango y guayaba, en cuyos frutos las hembras de la mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae) ovipositan. Los frutos al caer al suelo, el huevo o la larva continúa su ciclo biológico y la pupa se entierra en el suelo. La larva o la pupa puede ser infectadas por hongos fitopatógenos como, *Alternaria sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Mucor sp* y *Fusarium sp*, hongos que fueron identificados en estos agroecosistemas. También, las larvas y/o pupas pueden ser infectadas por el hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuil., que parasita larvas, pupas y adultos de la mosca de la fruta (Albornoz Medina, 2014, p. 117 y Tipismana, et al., 2005, p. 451). Este último hongo no fue identificado en estos agroecosistemas, pero es un ejemplo de una relación simbiótica parásita y de una comensalista, dado que los hongos fitopatógenos no parasitan a la mosca, y una vez que esta alcanza su estado adulto disemina a estos hongos por la filosfera y los frutos de los árboles frutales descritos y este díptero se convierte en un vector.

En síntesis, la microbiota del suelo de estos agroecosistemas establece relaciones simbióticas mutualistas y parásitas con los vegetales, con la macrofauna instaura los tres tipos de relaciones simbióticas (Mutualismo, parasitismo y comensalismo) y entre los géneros que la conforman el parasitismo mediante diferentes mecanismos de acción.

5.4. Aportes de la microbiota edáfica a los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son definidos como los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de los ecosistemas y primeramente lo han agrupado en cuatro categorías: de apoyo o soporte (procesos ecológicos necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos como la producción primaria, formación del suelo y el ciclado de nutrientes), de regulación (procesos ecosistémicos que inciden en el clima, las inundaciones, la calidad del agua, la erosión del suelo, las enfermedades, plagas agrícolas y

la polinización), aprovisionamiento (alimentos, agua, recursos genéticos y productos forestales) y culturales (enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas) (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005, p. 39). Con estas categorías se analiza el presente acápite.

Un rasgo para destacar de las relaciones simbióticas mutualistas entre los vegetales y la microbiota edáfica es la contribución potencial de esta última a los servicios ecosistémicos. El actinomiceto, *Streptomyces sp*, las bacterias *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp* y *Sarcinas sp*, y los hongos *Alternaria sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Paecilomyces sp*, *Trichoderma sp*, *Levaduras sp*, *Mucor sp* y *Rhizopus sp*, contribuyen a fomentar bienes y servicios ecosistémicos de regulación, de soporte y de aprovisionamiento. El de regulación lo desempeñan como controladores biológicos a través de la producción de sideróforos y antibióticos; antagonismo, parasitismo, competencia, resistencia inducida, degradación de pesticidas en el suelo y en la biorremediación. El de soporte o apoyo lo llevan a cabo al estimular la producción primaria a través de su contribución a los ciclos biogeoquímicos del C, N, P, K, S, (Biofertilización) y la producción de fitohormonas (Fitoestimulación). El de aprovisionamiento se manifiesta en la producción de biomasa vegetal o animal que se le denomine rendimiento, así como sus usos en la medicina popular, elaboración de bioinsumos, producción de energía renovable (Biogás, leña y carbón) y en una mejor calidad del agua. Esta microbiota edáfica benéfica puede desempeñar, al mismo tiempo, varios servicios ecosistémicos y coadyuvar a diferentes grupos funcionales.

Se puede inferir que el desafío inmediato de estos agricultores es implementar una gestión agroecológica en el rediseño de agroecosistemas agroforestales que contribuya al aprovechamiento adecuado de la biota edáfica benéfica para mantener condiciones óptimas de humedad, aireación, pH, temperatura y materia orgánica; que permita el establecimiento, crecimiento y reproducción de esta microbiota en la rizósfera; y optimizar las cuatro categorías de los servicios ecosistémicos propuestos por Millennium Ecosystem Assessment Board (MEA, 2005): de apoyo o soporte, de regulación, de aprovisionamiento y culturales (p. 41-45). Los tres primeros ya se explicaron y la última categoría se puede lograr recuperando el paisaje, la belleza escénica, desarrollar el agroturismo, el ecoturismo, el de aventura y el científico; a través de agroecosistemas forestales gestionados bajo el paradigma de la agroecología, dado que estos agroecosistemas se localizan en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz. También, se puede deducir que el fomento de una microbiota edáfica benéfica contribuye, principalmente, a los Objetivos de Desarrollo Sostenible dos (Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible) y al trece (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos).

5.5. Perspectivas para la colección *ex sito*, caracterización metabólica y utilidad de la microbiota edáfica nicaragüense

Entre los aspectos a considerar por parte de los agricultores para un manejo sostenible de los suelos de sus agroecosistemas, el fortalecimiento de los servicios ecosistémicos que acontecen en ellos y para el escalonamiento del paradigma de la agroecología es el conocimiento y comprensión de indicadores físicos, químicos y biológicos de sus suelos dado que:

solo a través de la comprensión del comportamiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas es posible diseñar prácticas de manejo de suelos y de cultivos que conduzcan al mejoramiento de la calidad integral del suelo y hacia la sostenibilidad de suelos y de cultivos. (Amézquita *et al.*, s.f., p. 6)

Sin embargo, se debe manifestar que un aspecto negativo para el escalonamiento del paradigma de la agroecología, no solo en Nicaragua, sino en América Latina, es el hecho que la industria transnacional que oferta agrotóxicos está promoviendo el uso de formulaciones con ingredientes activos a bases de microorganismos benéficos que promueven el crecimiento de los vegetales como alternativa para reducir los impactos negativos a la salud, la biodiversidad y al ambiente que provocaron y continúan provocando los agroquímicos sintéticos, así como la reducción de aplicaciones de fertilizantes sintéticos. Estas formulaciones están dirigidas al biocontrol de nemátodos, insectos y microorganismos fitopatógenos, y para promover el crecimiento vegetal de diferentes rubros agrícolas de importancia económica y para la seguridad alimentaria y nutricional. También, existen en el mercado formulaciones con consorcios de diferentes especies o cepas de microorganismos sinérgicos promotores del crecimiento vegetal para la coinoculación de semillas de cultivos de importancia agrícola. Fischer & Jofré (2013) destacan que existe “La posibilidad de utilizar mezclas (consorcio) con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) que interactúen sinérgicamente, es una tecnología muy poco explotada y los beneficios que esta aporta parecen ser mayores en comparación con las inoculaciones simples” (p. 67).

La oferta de estas formulaciones a base de ingredientes activos microbianos benéficos de parte de la industria transnacional es con el propósito de reducir y sustituir aplicaciones de los agrotóxicos sintéticos por estas formulaciones biológicas, que hace que los agricultores sean siempre dependientes de insumos externos. Contrario a esto, es fundamental elaborar e implementar una política de Estado para el escalonamiento del paradigma de la agroecología, en la que las instituciones de educación superior y los centros de investigación e institutos de investigación financiados con fondos públicos coleccionen los microorganismos nativos edáficos *ex sito* para el resguardo de la diversidad microbiana edáfica nicaragüense y caracterizarla metabólicamente para su uso potencial, no solo en la agricultura, sino en la salud animal y humana; en la biorremediación y la agroindustria, etc.

Los microorganismos nativos o cepas nativas que resulten promisorios para promover el crecimiento vegetal o para el manejo de nematodos, insectos y microorganismos fitopatógenos es fundamental que estén a la disposición de los agricultores, para lo cual es primordial construir la infraestructura básica para la preservación de los microorganismos o cepas promisorias, en las zonas rurales, dotarlos de los equipos necesarios y se capacite a las familias de los agricultores para que los reproduzcan en sus agroecosistemas, cooperativas o asociaciones para que elaboren sus propias formulaciones, como es el caso de hongos entomopatógeno en nuestro país. También, estos microorganismos benéficos nativos promotores del crecimiento vegetal pueden ser incorporados en los fertilizantes orgánicos sólidos, como el compost mineralizado, humos de lombriz, etc; así como a las aplicaciones foliares con biofertilizantes líquidos. Para hacer realidad este proceso de masificación de insumos biológicos elaborados por los agricultores se necesita el apoyo de organismos donantes y construir alianzas estratégicas con las asociaciones, organizaciones, unión de los agricultores y el Movimiento de Productoras y Productores Agroecológico y Orgánicos de Nicaragua (MAONIC).

Referencias

- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B. J., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por plantas: una síntesis. *Rev. Fitotec. Mex.*, 35(1), 9-21. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n1/v35n1a4.pdf>
- Aguilera-Arango, G. A., Rodríguez-Henao, E., Chaparro-Zambrano, H. N., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2020). Estado actual de la investigación para el cultivo de guayaba en Colombia. 31(3), 845-860. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v31n3/2215-3608-am-31-03-00830.pdf>
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 1-20. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1018364713000293?token=DAAFD71AAB065872B9C8ECE8E0D0DBFF44D361415198E3FB701439B980F526E7CEBD7CE0784A38B155E92BA93E118DE7>
- Albornoz Medina, P. (2014). Hongos patógenos asociados a “moscas de la fruta” (Diptera: Tephritidae) en el sector austral de las Yungas del noroeste argentino. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, 135. La Plata, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34907/Documento_completo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amézquita, E., Rubiano, Y., & Orozco, O. L. (s.f.). La condición física del suelo y su importancia en el manejo integral del suelo.
- Ayres, A. J. (2001). Control De Las Enfermedades De Los Cítricos En Brasil. *Simposio Sobre Cítricos*, FAO, 10. China. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/006/x6732s/x6732s13.pdf>
- Baños, Y. S., Concepción, A. D., Lazo, R., González, I., & Morejon, L. (2010). Efectos de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. en el manejo de *Meloidogyne* spp. *Revista Brasileira de Agroecología*, 5(2), 224-233. https://orgprints.org/24512/1/Ba%C3%B1os_Efecto.pdf

- Benintende, G. (2016). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal pertenecientes al género *Bacillus* y otros muy relacionados. En M. Laura Puente, J. E. García, & A. Peticari, *Uso actual y potencial de microorganismos para mejorar la nutrición y el desarrollo en trigo y maíz* (pág. 81). INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_microorganismos_trigo_maiz.pdf
- Benjumeda Muñoz, D. (2017). Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal: Mecanismos y Aplicaciones. 40. Sevilla, España: Trabajo de fin de grado en farmacia, Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%c3%91OZ%2c%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bressan, W., & Figueiredo, J. E. (2005). Biological Control of *Stenocarpella maydis* in Maize Seed with Antagonistic *Streptomyces* sp. Isolates. *J. Phytopathology*, 153, 623-626. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1439-0434.2005.01014.x>
- Canjura-Saravia, E. M., Sánchez-Garita, V., & Somarriba, E. (2002). Reproducción masiva de *Verticillium* sp., hiperparásito de la roya del café, *Hemileia vastatrix*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 66, 13-19. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Somarriba/publication/324212242_Reproduccion_masiva_de_Verticillium_sp_hiperparasita_de_la_roya_del_cafe_Hemileia_vastatrix/links/5ac4febba6fdcc051daf1039/Reproduccion-masiva-de-Verticillium-sp-hiperparasita-de
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una Revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 14(2), 15-31. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a03.pdf>
- Carballas, M. T. (2004). Microbiología y bioquímica del suelo forestal. Recursos Rurías, IBADER (*Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural*), 1, 5-8. http://www.ibader.gal/archivos/RR_SerieCursos_NO1_2004-66.pdf#page=15
- Castro-Toro, Á. M., & Rivillas-Osori, C. A. (2012). *Trichoderma* spp. Modos de acción, eficacia y usos en el cultivo del café. Chinchiná- Caldas, Colombia: CENICAFE. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/577/1/038.pdf>
- Condori-Pacsi, S. J., Fernández-Guzman, P. R., & Valderrama-Valencia, M. R. (2019). Aislamiento y caracterización de *Streptomyces* spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal. *Idesia*, 37(2), 109-116. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n2/0718-3429-idesia-37-02-00109.pdf>
- Corrales Ramírez, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014b). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 12(21), 67-78. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21a06.pdf>
- Corrales Ramírez, L. C., Sánchez Leal, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014a). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *Nova*, 165-178. doi:10.22490/24629448.1041
- Correa, O. S. (2016). Los microorganismos del suelo y su rol en la nutrición vegetal. Buenos Aires, Argentina. https://www.researchgate.net/profile/Olga_Correa/publication/306960003_LOS_MICROORGANISMOS_DEL_SUELO_Y_SU_ROL_INDISCUTIDO_EN_LA_NUTRICION_VEGETAL/links/57c0a2c008aeb95224d4a4f8/LOS-MICROORGANISMOS-DEL-SUELO-Y-SU-ROL-INDISCUTIDO-EN-LA-NUTRICION-VEGETAL.pdf

- Cuevas, G., & Walter, I. (2004). Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 59-68. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37000202.pdf>
- Dávila Medina, M. D., Gallegos Morales, G., Hernández Castillo, F. D., Ochoa, Y. M., & Flores Olivas, A. (2013). Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1187-1196. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n8/v4n8a6.pdf>
- De la Peña, E. (2009). Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas*, 18(2), 64-78. <https://core.ac.uk/download/pdf/16364763.pdf>
- Delgado Higuera, M. (s.f.). Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. www.oriusbio.com: https://www.oriusbio.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutrici%C3%B3n_vegetal.
- Ezziyyani, M., Pérez Sánchez, C., Requena, M. E., Rubio, L., & Candela, M. E. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* -Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anuales de Biología*, 69-78. <https://revistas.um.es/analesbio/article/view/30471/29651>
- Fischer, S., & Jofré, E. (2013). El futuro de los inoculantes: hacia el desarrollo de consorcios microbianos para una agricultura sostenible. En M. L. Puente, J. E. García, & A. Peticari, *Uso actual y potencial de microorganismos para mejorar la nutrición y el desarrollo en trigo y maíz* (pág. 81). Argentina: INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_microorganismos_trigo_maiz.pdf
- Franco-Correa, M., Quintana, A., Duquea, C., Suarez, C., Rodríguez, M. X., & Barea, J. M. (2010). Evaluation of actinomycete strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhiza helping activities. *Applied Soil Ecology*, 45, 209-217. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47021717/j.apsoil.2010.04.00720160705-3906-hridvc.pdf?1467712272=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluation_of_actinomycete_strains_for_k.pdf&Expires=1601516794&Signature=U-U8clYJcZsYG2XnOt56zXMtsyJ
- Gaviria-Giraldo, J., Restrepo-Franco, G. M., Galeano-Vanegas, N. F., & Hernández-Rodríguez, A. (2017). Bacterias diazotróficas con actividad promotora del crecimiento vegetal en *Daucus carota* L. *Revista Ciencia y Agricultura*, 15(1), 19-27. doi:<https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7753>
- Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367-374. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.001>
- González Jiménez, Y. T. (2010). Los actinomicetos: una visión como promotores de crecimiento vegetal. Trabajo de grado en Microbiología Agrícola y Veterinaria (Pontificia Universidad Javeriana, 36 p. Bogotá, Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8665/tesis618.pdf;sequence=1>
- González Toro, C. (2015). *Guía educativa sobre salud del suelo*. *Guía Educativa de Suelos-Rev 3-UPRAES*(20(1).pdf

- Gutierrez Espinoza, C. A. (2017). Aislamiento, caracterización y evaluación de la capacidad antimicrobiana de actinomicetos asociados a hormigas cortadoras de hojas (Formicidae: Myrmicinae: Attini). Tesis de Bióloga con mención en zoología, Universidad Mayor de San Marcos. http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7092/Gutierrez_ec.pdf?sequence=1
- Hamdali, H., Hafidi, M., Mohamed, M. J., & Ouhdouch, Y. (2008b). Growth promotion and protection against damping-off of wheat by two rock phosphate solubilizing actinomycetes in a P-deficient soil under greenhouse conditions. *Applied Soil Ecology*, 40(3), 510-517. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.001>
- Hamdali, H., Hafidi, M., Virolle, M. J., & Ouhdouch, Y. (2008a). Rock phosphate-solubilizing Actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. *World J Microbiol Biotechnol*, 24, 2565-2575. doi:DOI 10.1007/s11274-008-9817-0
- Harman, G. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. 96(2), 190-194. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/PHTO.2006.96.2.190>
- Harman, G. E., Petzold, R., Comis, A., & Chen, J. (2004). Interactions Between *Trichoderma harzianum* Strain T22 and Maize Inbred Line Mo17 and Effects of These Interactions on Diseases Caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. *The American Phytopathological Society*, 94(2), 147-153. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/PHTO.2004.94.2.147>
- Himamana, W., Thamchaipenetc, A., Pathom-Aree, W., & Duangmala, K. (2016). Actinomycetes from Eucalyptus and their biological activities for controlling Eucalyptus leaf and shoot blight. *Microbiological Research* 188-189, 42-52. doi:DOI: 10.1016/j.micres.2016.04.011
- Hinestroza Vásquez, J., & Caicedo Cuero, H. (2018). Abundancia de grupos funcionales de microorganismos del suelo bajo cuatro sistemas de manejo agroecosistémico del municipio de Palmira (Valle del Cauca). Palmira: Trabajo de graduación, Universidad Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18835/10388556.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional Tecnológico (INATEC). (2017). Manual del protagonista de granos básicos. Managua: INATEC. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Manual_Granos_B%C3%A1sicos_opt.pdf
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). (Primero de Octubre de 2020). Mecanismos de acción de microorganismos para el control de enfermedades en el suelo. www.intagri.com: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/mecanismos-de-accion-de-microorganismos-para-el-control-de-enfermedades-en-el-suelo>
- Kuiper, I., Lagendijk, E. L., V. Bloemberg, G., & Lugtenberg, J. J. (2004). Rhizoremediation: A Beneficial Plant-Microbe Interaction. *MPMI The American Phytopathological Society*, 17(1), 6-15. doi:<https://doi.org/10.1094/MPMI.2004.17.1.6>
- Man-hong, S., Li, G., Yan-Xia, S., Bao-Jü, L., & Xing-Zhong, L. (2006). Fungi and actinomycetes associated with *Meloidogyne* spp. eggs and females in China and their biocontrol potential. 22-28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00022201106000565>
- Martínez Medina, A., & Ramírez Romero, R. (2011). Relaciones dañinas, neutras o positivas. *Elementos*, 84, 53-58. http://www.ramirezromerolab.com/uploads/6/1/0/2/61025147/martinezmedina_ramirezromeroelementos.pdf

- Martínez-Rodríguez, R., Viguera, B., & Donatti, C. (2017). La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. Turrialba, Costa Rica: CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). https://www.researchgate.net/publication/326929013_La_importancia_de_los_servicios_ecosistemicos_para_la_agricultura_Mod_3
- Matilla, M. A., & Krel, T. (2017). Bacterias rizosféricas como fuente de antibióticos. 2(1), 14-21. http://www.ditco.buap.mx/recursos/documentos/revista/vol2_no1_2017/bacterias.pdf
- Millennium Ecosystem Assessment Board (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC, USA: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mendoza, G. A., Wilson, J. H., & Colina, J. C. (2013). Efecto de *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* sobre huevos de *Meloidogyne* sp. en condiciones de laboratorio. *Revista Científica de Estudiantes*, 1(2), 1-7. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/viewFile/479/457>
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. d., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muñoz-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 17(2), 24-34. https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Munoz-Rojas/publication/293086504_Mecanismos_de_fitoestimulacion_por_rizobacterias_aislamientos_en_America_y_potencial_biotecnologico/links/56b592e808ae44bb330589f0/Mecanismos-de-fitoestimulacion-por-rizobacteria
- Monzón, A., Herrera, I., & Méndez, E. (2009). *Uso y manejo de bioplaguicidas a base de Paecilomyces lilacinus para el control de nemátodos fitoparásitos*. Managua, Nicaragua: FUNICA.
- Moratto, C., Martínez, L. J., Valencia, H., & Sánchez, J. (2005). Efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias diazotróficas en el páramo de Guerrero (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 299-309. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316955015.pdf>
- Moreno Reséndez, A., García Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 20(1), 68-83. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707
- Ningthoujam, D. S., Sanasam, S., Tamreihao, K., & Nimaichand, S. (2009). Antagonistic activities of local actinomycete isolates against rice fungal pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 3(11), 737-742. <https://academicjournals.org/journal/AJMR/article-full-text-pdf/EE4F73014681>
- Palafox, S. (2019). Caracterización del género de bacterias *Bacillus* aisladas de suelos de milpa del alto Mezquital Hidalgo con capacidad antagónica contra *Fusarium*. Sonora, México: Tesis profesional, Universidad de Sonora. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/handle/unison/2111/palafoxfelixsharonl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez Rojas, F., Quispe, J. L., & Galindo Cabello, N. (2015). Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena Hawkes). 33(2), 116-139. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v33n2/2007-8080-rmfi-33-02-00116.pdf>

- Pérez, Y. D., Díaz de la Osa, A., Restrepo-Franco, G. M., Diván-Baldani, V. L., & Hernández-Rodríguez, A. (2015). Diversidad de bacterias diazotróficas asociativas potencialmente eficientes en cultivos de importancia económica. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 4(1), 17-26. <https://www.researchgate.net/publication/331071516>
- Préz Montes, M. T., & Torres Zavaleta, M. F. (2019). Aislamiento, caracterización e identificación molecular de bacterias productoras de celulosas en intestino de lombriz de tierra y su actividad catállica sobre residuos vegetales con diferentes proporción C/N. Tesis en biotecnología, Universidad Nacional del Santa. <http://200.37.61.90/bitstream/handle/UNS/3442/49583.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contraminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 149-155. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
- Reyes Tena, A., Rincón Enríquez, G., Evangelista Martínez, Z., Quiñones Aguila, E., & López Pérez, L. (2015). Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. 16(11), 1-15. http://www.ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/2589/art92_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66-77. <file:///C:/Users/DRCE87~1/DEN/AppData/Local/Temp/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110.pdf>
- Robles-Hernández, L., Hernández-Huerta, J., González-Franco, A. C., Hernández-Rodríguez, O. A., Núñez-Barrios, A., & Pérez-Leal, R. (2015). Streptomyces PRIO41 como promotor de crecimiento en plantas de chile jalapeño y agente de control biológico de Fusarium. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84, 253-261. http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol84-2/Robles_Hernandez.pdf
- Rodríguez Guzmán, M. (2001). Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo en México. *Act. Zool. Mex.*, 1, 53-78. <https://www.redalyc.org/pdf/575/57500005.pdf>
- Rodríguez-Dopazo, A., Farrés-Armenteros, E., Placeres-Gafas, J., Peña-González, O., Fornaris, L. M., Mulen, L., ... Hernández-Espinosa, D. (2010). Una mirada al manejo del cultivo de la guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista CitriFrut*, Vol. 27, No. 1., 64-68. http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA10_27_1_%202010.pdf
- Rubio Zavaleta, K. J. (2017). Aislamiento y caracterización de bacterias endofitas diazotróficas a partir de cultivares de *Asparagus officinalis* L. en la región La Libertad. Trujillo: Tesis de la Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10842/Rubio%20Zavaleta%2c%20%20Katherine%20Judith.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saez, J. M., Alvarez, A., Amoroso, M. J., & Benimeli, C. S. (2018). Actinobacterias: su potencial para remover y degradar plaguicidas. En L. Brutti, M. Beltrán, & I. García de Salamone, *Bioremediación de los recursos naturales* (pág. 490). Buenos Aires, Argentina: INTA. file:///C:/Users/DRCE87~1/DEN/AppData/Local/Temp/INTA_CIRN_InstitutodeSuelos_Brutti_L_biorremediacion_de_los_recursos_naturales-1.pdf

- Sánchez-Ovalle, M. D., Sánchez-Peña, S. R., Gallegos-Morales, G., & Sánchez-Arizpe, A. (2011). Actividad Inhibitoria de Actinomicetos aislados de Hormigas Cultivadoras de Hongos (Hymenoptera: Formicidae) sobre *Colletotrichum lindemuthianum* y *Rhizoctonia solani*. *Revista Agraria -Nueva Epoca-* Año VIII, 14-17. [http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/article/49/Agraria_2011\(8\)-1-2.pdf](http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/article/49/Agraria_2011(8)-1-2.pdf)
- Soriano-Bernilla, B. S., & Soriano-Bernilla, E. (2010). Degradación de pesticidas por Actinomicetos. *UCV - Scientia*, 35-. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6181506>
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M., & Huising, E. J. (2012). El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En F. M. Moreira, E. J. Huising, & D. E. Bignell, *Manual de biología de suelos tropicales: muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (pág. 350). México, D.F. http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/217/667_2012_Manual_biologia_suelos_tropicales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tamayo Molano, P. J. (2007). Enfermedades del aguacate. *Politécnica*, 51-70. <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/viewFile/62/49>
- Tejera-Hernández, B., Heydrich-Pérez, M., & Rojas-Badía, M. M. (2013). Aslamiento de *Bacillus* solubilizadores de fosfatos asociados al cultivo del arroz. 357-364. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n2/a12v24n2.pdf>
- Tipismana, C. E., Astudillo, L. R., & Guillermo, J. J. (2005). Hongos de importancia agrícola presentes en moscas de la fruta del valle de Ica, Perú. *Rev. peru. biol.*, 12(3), 449-456. https://www.researchgate.net/publication/28110532_Hongos_de_importancia_agricola_presentes_en_moscas_de_la_fruta_del_valle_de_ica_Peru/link/57a9a17408aeac64b1051106/download
- Trinidad-Ángel, E., Ascencio-Valle, F. D., Ulloa, J. A., Ramírez-Ramírez, J. C., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M., & Bautista Rosales, P. U. (2017). Identificación y caracterización de *Colletotrichum* spp. causante de antracnosis en aguacate Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(19), 3953-3964. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8nspe19/2007-0934-remexca-8-spe19-3953.pdf>
- Umer, M. I., & Rajab, S. M. (2012). Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. *Urasian Journal of Soil Science*, 45-50. doi:<http://ejss.fesss.org/10.18393/ejss.2012.1.045-050/pdf>
- Valverde, C., & Ferraris, G. (2016). Las Psuedomonas: un grupo heterogéneo con diversos mecanismos promotores del desarrollo vegetal. En M. L. Puente, J. E. García, & A. Perticari, *Uso actual y potencial de microorganismos para mejorar la nutrición y desarrollo en trigo y maíz* (pág. 81). Argentina: INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_microorganismos_trigo_maiz.pdf
- Yücel, S., & Yamaç, M. (2010). Selection of *Streptomyces* isolates from Turkish karstic caves against antibiotic resistant microorganisms. *Pak. J. Pharm. Sci*, 23(1), 1-6. https://www.researchgate.net/profile/Mustafa_Yamac/publication/41000533_Selection_of_Streptomyces_isolates_from_Turkish_karstic_caves_against_antibiotic_resistant_microorganisms/links/02bfe51260d50b7379000000/Selection-of-Streptomyces-isolates-from-Turkis

CAPÍTULO VI. REFLEXIONES

Dennis José Salazar Centeno¹

¹Doctor Agriculturarum, Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3281-2348>, dennis.salazar@ci.una.edu.ni

En la introducción de la presente publicación digital, se resaltó que las investigaciones interdisciplinarias, que lideran académicos de la Universidad Nacional Agraria (UNA), en el departamento de Río San Juan, se realizan en el marco de un proyecto financiado por el Consejo Nacional de Universidades (CNU), que ha consolidado una alianza estratégica con diferentes personalidades e instituciones (Estudiantes, académicos, líderes comunales, familias agricultoras, gobiernos municipales y departamental, autoridades académicas, instituciones del gobierno e instituciones académicas) y se han implementado metodologías de diferentes disciplinas científicas para analizar de forma sistémica y holística los procesos que acontecen simultáneamente en los agroecosistemas, así como los bienes y servicios ecosistémicos que en ellos se gestan. Por consiguiente, se puede considerar que la UNA, en ese terruño, gestiona un modelo de investigación acción, que incluye a diferentes disciplinas científicas que contribuyen al desarrollo de competencias agroecológicas para un desarrollo rural endógeno, y al fomento del escalonamiento del paradigma de la agroecología. Este modelo de investigación acción se debe perfeccionar y mejorar en la medida que se integren más disciplinas científicas, actores y promotores para el desarrollo sostenible con principios del paradigma de la agroecología en Río San Juan, de modo que esta experiencia académica se pueda adaptar en otros departamentos de Nicaragua y la región centroamericana.

El aporte de este proceso de investigación interdisciplinario y participativo es que facilita entender y comprender los diseños y manejos de la biodiversidad que cada familia agricultora o agricultor ha gestionado en cada agroecosistema, las asociaciones y relaciones dentro los factores físicos del agroecosistemas (precipitación, temperatura, humedad relativa y suelo: pH vs P, Ca/K, Mg/K, Ca/Mg, Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC) vs disponibilidad de nutrientes, etc) y entre los físicos (suelo, precipitación, temperatura, humedad relativa, etc.) y los componentes biológicos (biodiversidad productiva, auxiliar y asociada) en los agroecosistemas, así como los tipos de simbiosis (mutualismo, comensalismo, parasitismo, ectosimbiosis y endosimbiosis) y las relaciones tróficas que se establecen entre los diferentes componentes biológicos (productores, consumidores y descomponedores) en los agroecosistemas (Figura 6.1).

Se enfatiza que, para fomentar los servicios ecosistémicos en los agroecosistemas, el principal recurso natural no renovable que se debe proteger, conservar, mejorar y restaurar es el suelo. Así mismo, se destaca que el principal recurso natural renovable que se debe proteger, conservar y fomentar es el componente biológico (biodiversidad productiva, auxiliar y asociada),

que es el que garantiza los bienes y servicios ecosistémicos para el buen funcionamiento del agroecosistema (apoyo y regulación) y para el bienestar de la familia campesina, la comunidad y la sociedad (aprovisionamiento y culturales).

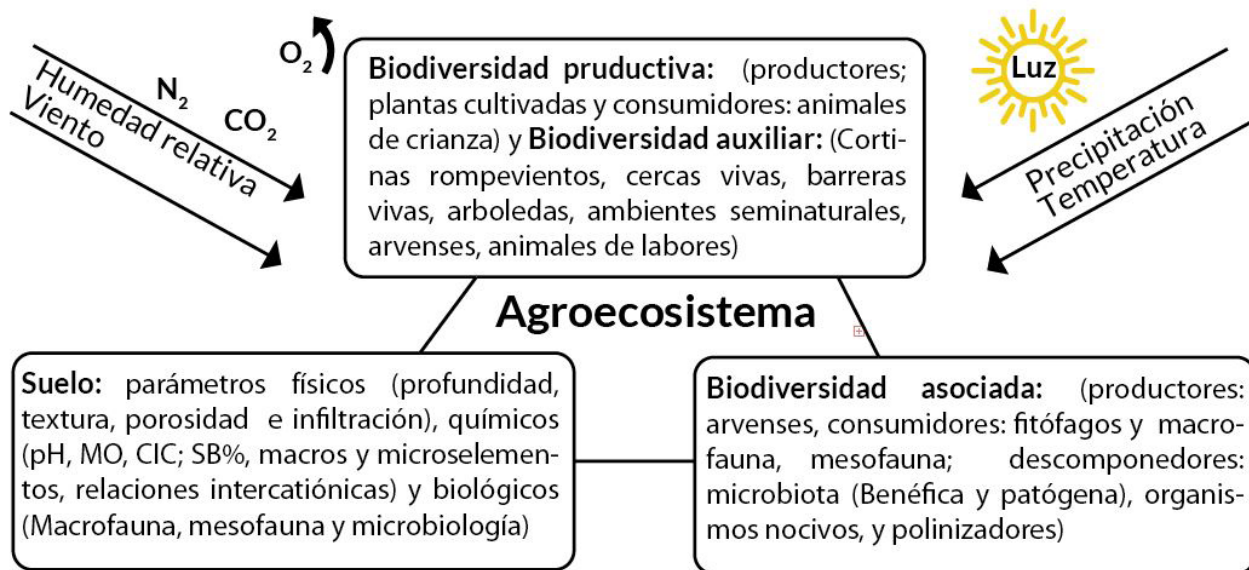


Figura 6.1. Triángulo de asociaciones y relaciones entre el recurso natural no renovable (suelo) y el componente biótico (biodiversidad productiva, auxiliar y asociada), las que acontecen en el suelo y las existentes entre la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada en los agroecosistemas.

La estrategia de gestión en los agroecosistemas debe cimentarse en la protección, conservación, mejora y restauración de los recursos naturales renovable (Agua y biodiversidad) y no renovables (suelo) de los que depende la agricultura y la sociedad. Para esto es fundamental, que se realicen obras de conservación del suelo y del agua, y que los organismos productores (plantas cultivadas y no cultivadas) de los agroecosistemas aprovechen lo más eficientemente la energía solar (luz), el agua del suelo y el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera para que liberen oxígeno (O_2) al aire y produzcan la mayor cantidad de fitomasa para que, siempre, el suelo esté protegido o cubierto de fitomasa viva y/o muerta, porque esta activa positivamente todas las cadenas tróficas al exterior e interior del suelo (Figura 6.1), para lo cual es *sine que non* que los diseños y manejos de la biodiversidad sean complejos o altamente complejos acorde a las condiciones edafoclimáticas de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz.

Se concluye que es necesario que en los agroecosistemas con diseños y manejos de la biodiversidad complejos o altamente complejos se generen y se brinden, paulatinamente, las condiciones para que cohabiten y actúen simultáneamente diferentes organismos que realizan funciones disímiles. Entre los cuales están los organismos productores (plantas

cultivadas y no cultivadas), los organismos consumidores, (fitófagos, detritívoros, depredadores, parasitoides, omnívoros, polinizadores, parásitos e ingenieros del suelo), y entre los organismos descomponedores un consorcio de microorganismos edáficos (Figura 6.2) que participen, principalmente, en los ciclos biogeoquímicos del carbono (celulíticos, proteolítico y amilolíticos), del nitrógeno (diazótrofos, oxidantes de NH_4^+ y oxidantes de NO_2^-), del fósforo (solubilizadores del fósforo y hongos que forman micorrizas) y en el ciclo del potasio, así como microorganismos promotores de la estimulación del crecimiento vegetal (productores de auxinas, giberelinas, etileno, cito quininas y de ácido abscísico) y agentes de biocontrol (producción sideróforos, antibióticos, enzimas líticas, compuestos volátiles y cianuro de hidrógeno; así como antagonismo, microparasitismo, competencia, resistencia inducida, etc.) y regulación (degradación de pesticidas en el suelo y en la biorremediación). Simultáneamente, los organismos productores, consumidores y descomponedores pueden participar en diferentes grupos funcionales. Esto garantiza que los agroecosistemas tengan suelos fértiles, saludables, muy activos y dinámicos biológicamente, y que de forma natural se realice la biofertilización de los vegetales; la fitoestimulación del crecimiento vegetal; y el biocontrol de los organismos nocivos, que conduce a un mejor crecimiento, desarrollo y rendimiento de los vegetales, a optimizar los servicios ecosistémicos que ofrece la biodiversidad, a una reducción de agrotóxicos sintéticos y a la autorregulación del agroecosistema. Estos agroecosistemas serán muy diversos, sinérgicos, multifuncionales, más eficientes, productivos, estables, resilientes y autorregulados; y menos dependientes de insumos externos. Para hacer realidad esta utopía del paradigma de la agroecología, se deben realizar investigaciones interdisciplinarias en el objeto de estudio de este paradigma, que es el agroecosistema, así como a nivel de la cuenca hidrográfica.

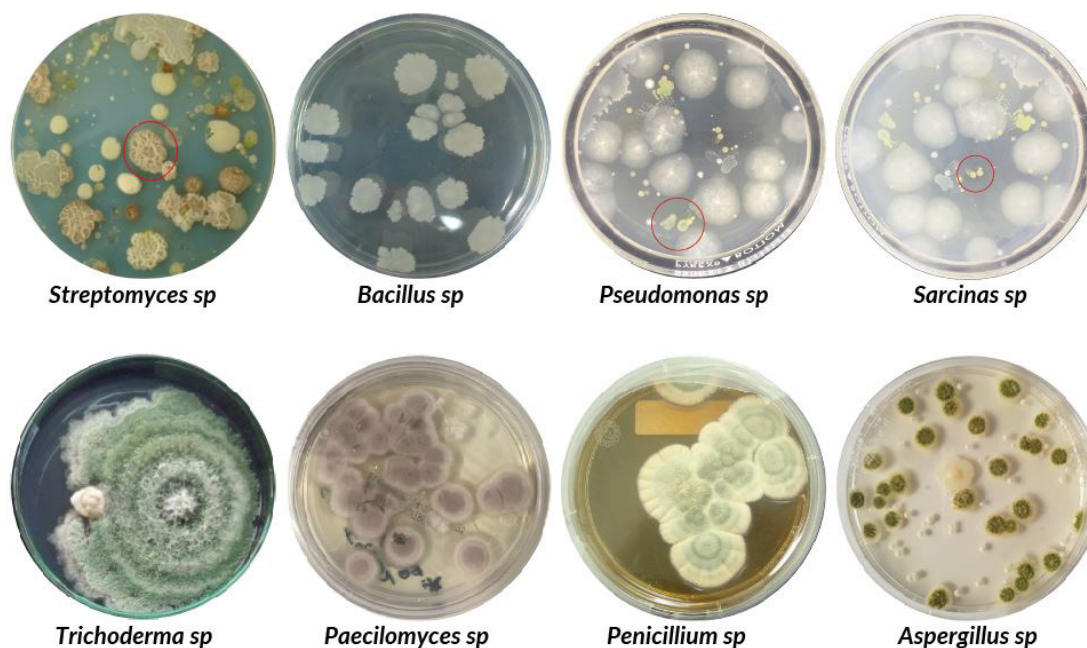


Figura 6.2. Consorcio de microbiota edáfica que cohabita y actúa simultáneamente en diferentes ciclos biogeoquímicos (C, N, P, K, y S) y forman parte de diferentes grupos funcionales (Cortesía del laboratorio de microbiología del DPAF - UNA).

GALERÍA FOTOGRÁFICA DEL INTERCAMBIO INTERDISCIPLINARIO HORIZONTAL DE SABERES Y HACERES



Figura G1. Loma compartida por los agroecosistemas colindantes El Mono y Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G2. Encuentro de intercambio interdisciplinario horizontal de saberes y haceres, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G3. Marcha hacia la parcela para consolidar el intercambio horizontal de saberes y haceres para evaluar indicadores físicos y químicos de los suelos, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G4. Práctica para la determinación de la profundidad del suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G5. Práctica de extracción de la muestra para la determinación de la densidad aparente del suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G6. Práctica para la valoración del contenido de materia orgánica del suelo mediante el efecto del agua oxigenada al 10%, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G7. Práctica para la determinación de la infiltración del agua en el suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G8. Práctica para la determinación del pH del suelo a través de cinta, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G9: Intercambio horizontal de saberes y haceres para el muestreo de la macrofauna en la hojarasca y en el monolito 25cm*25cm*30cm, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G10. Primer estrato (10 cm) del monolito de 25cm*25cm*30cm para el muestreo de la macrofauna, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G11. Práctica de extracción de los organismos de la macrofauna para su identificación, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G12. Identificación de los individuos de la macrofauna en el laboratorio de la Sede Juigalpa-UNA.



Figura G13. Elaboración de las bases de datos electrónicas de la metodología de Vázquez (2013), de los parámetros del suelo, la macrofauna y de la microbiota edáfica, en la Sede Juigalpa-UNA.



Figura G14. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis de la bachillera Anielka Paola Mendoza, Sede Juigalpa-UNA.



Figura G15. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis del bachiller Juan Noel Castro Guzmán, Sede Juigalpa-UNA.



Figura G16. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis del bachiller Álvaro Reynaldo Gómez López, Sede Juigalpa-UNA.



Figura G17. Agricultor Ángel Alberto Martínez Sánchez (Izquierda) propietario del agroecosistema Los Mangos, y el tesista Juan Noel Castro Guzmán (Derecha), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G18. Agricultor Julio Cesar Martínez Varela (derecha) propietario del agroecosistema El Recuerdo, y el tesista Álvaro Reynaldo Gómez López, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G19. Agricultor Patricio Maradiaga propietario del agroecosistema Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.



Figura G20. Agricultor Juan Paulo Herrera (Derecha) propietario del agroecosistema El Mono, acompañado con su colaborador agropecuario, Sr. Juan Ramón Lanuza García (Izquierda), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Desarrollo de competencias de los agricultores para evaluar profundidad, pH, materia orgánica, infiltración, densidad aparente y textura de suelo con las metodologías de campo descritas en el manual de García Centeno (2017, p. 9-28).	15
Figura 1.2. Muestreo e identificación de la macrofauna en la hojarasca y en el monolito de 25cm*25cm*30cm por los agricultores.	17
Figura 1.3. Acto de entrega de certificados a los agricultores, técnicos del Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFCCA), líderes comunitarios, estudiantes y académicos de la Universidad Nacional Agraria (UNA) que culminaron exitosamente el proceso de intercambio horizontal de saberes y haceres, Boca de Sábalo, 06. 02.2020.	20
Figura 2.1. Indicativos de los coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en cuatro agroecosistemas, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017 (Castro Guzmán, 2021, p. 45; Gómez López, 2021, p. 32).	27
Figura 2.2. Indicativos de los coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Mendoza, 2020, p. 40).	28
Figura 3.1. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema La Palma, propietario Reynaldo Galeano Reyes, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Gómez López, 2021, p. 34).	58
Figura 3.2. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Recuerdo, propietario, Julio Cesar Martínez Varela, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Gómez López, 2021, p. 35).	59
Figura 3.3. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Mangos, propietario Ángel Martínez, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 51).	59
Figura 3.4. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Reyes, propietario Victorino Reyes, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 50).	61
Figura 3.5. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Mono, propietario Juan Pablo Herradora, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 45).	61
Figura 3.6. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Jardín del Edén, Patricio Maradiaga, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 50).	62
Figura 3.7. Comparación de las categorías de los indicadores físicos, químicos y biológico en seis agroecosistemas, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Gómez López, 2021, p. 44; Castro Guzmán, 2021, p.53; Mendoza, 2020, p. 51).	78

Figura 4.1. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Recuerdo y La Palma), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Gómez, 2021, p. 48).	91
Figura 4.2. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Castro, 2021, p. 57).	91
Figura 4.3. Diversidad alfa (perfiles de Renyi) de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Mono y Jardín del Edén) La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2019 (Mendoza, 2020, p. 54).	94
Figura 4.4. Disimilitud progresiva acumulada de la macrofauna en dos agroecosistemas (El Recuerdo y La Palma), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.	95
Figura 4.5. Disimilitud progresiva acumulada de la macrofauna en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019	96
Figura 4.6. Disimilitud progresiva de la macrofauna en dos agroecosistema (El Mono y Jardín del Edén), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2019. Medio Bajo	97
Figura 4.6. Disimilitud progresiva de la macrofauna en dos agroecosistema (El Mono y Jardín del Edén), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2019.	
Figura 4.7. Diagrama concéntrico de familias y funciones desempeñadas por organismos de la macrofauna en dos agroecosistema (El Mono y Jardín del Edén), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, 2019.	111
Figura 6.1. Triangulo de asociaciones y relaciones entre el recurso natural no renovable (suelo) y el componente biótico (biodiversidad productiva, auxiliar y asociada), las que acontecen en el suelo y las existentes entre la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada en los agroecosistemas.	144
Figura 6.2. Consorcio de microbiota edáfica que cohabita y actúa simultáneamente en diferentes ciclos biogeoquímicos (C, N, P, K, y S) y forman parte de diferentes grupos funcionales (Cortesía del laboratorio de microbiología del DPAF UNA).	145

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Comunidad, agroecosistemas, coordenadas, altura sobre el nivel del mar, clima, temperatura media anual, precipitación media anual y área de cada agroecosistema, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	10
Cuadro 1.2. Lotes o parcelas de los agroecosistemas Los Reyes (LR), Los Mangos (LM), La Palma (LP) y El Recuerdo (EL), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017 (Castro Guzmán, 2021, p. 21, Gómez López, 2021, p. 13)	12
Cuadro 1.3. Lotes o parcelas de los agroecosistemas El Mono (EM) y Jardín del Edén (JD), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018 (Mendoza, 2020, p. 17)	12
Cuadro 1.4. Indicativos, indicadores, fórmulas y coeficiente de manejo de la biodiversidad (Vázquez Moreno, 2013, p. 34-38)	13
Cuadro 1.5. Escalas del coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) que determinan el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema (Vázquez Moreno, 2013, p. 38)	14
Cuadro 1.6. Categorías para la estimación del nivel de presencia de materia orgánica (MO) en el suelo del agroecosistema (García Centeno, 2017, p. 25)	15
Cuadro 1.7. Categorías de valoración de los parámetros de los indicadores físicos del suelo, profundidad (cm), porosidad total (%), materia orgánica, infiltración (cmh^{-1}), pH y textura según García Centeno (2017, p. 28)	16
Cuadro 1.8. Parámetros o indicadores químicos de calidad de suelo y métodos implementados en el laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria descritos por Díaz Torrez (2019, p. 10)	16
Cuadro 1.9. Categorías para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado descritas en Díaz Torres (2019, p. 10)	17
Cuadro 1.10. Medios de cultivo y métodos para identificar los microorganismos del suelo (Gutiérrez Gaitán, 2012, p. 12-54)	19
Cuadro 2.1. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Castro Guzmán, 2021, p. 80)	36
Cuadro 2.2. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018 (Gómez López, 2021, p. 66)	37
Cuadro 2.3. Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo de dos agroecosistema, Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, 2018 (Mendoza, 2020, p. 32-34)	38
Cuadro 3.1. Características físicas y químicas de las parcelas o lotes en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan (Gómez López, 2021, p. 42; Castro Guzmán, 2021, p. 52)	68
Cuadro 3.2. Disponibilidad de nutrientes (kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan (Gómez López, 2021, p. 43; Castro Guzmán, 2021, p. 53)	69
Cuadro 3.3. Características químicas de los lotes o parcelas del agroecosistema El Mono, La Azucena, San Carlos, Río San Juan (Mendoza, 2020, p. 42)	72

Cuadro 3.4. Características químicas de los lotes o parcelas del Agroecosistema Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan (Mendoza, 2020, p. 48)	91
Cuadro 3.5. Disponibilidad de nutrientes (kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, La Azucena, San Carlos, Río San Juan	91
Cuadro 3.6. Valores promedios de las características químicas de los cuatro agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan	94
Cuadro 4.1. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas (La Palma y El Recuerdo), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019 (Gómez, 2021, p. 51)	95
Cuadro 4.2. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019 (Castro, 2021, p. 61)	96
Cuadro 5.1. Frecuencia absoluta de identificación por género ($F_i=n$), frecuencia absoluta de identificación por grupo ($\sum F_{ig}$), frecuencia absoluta total de identificación ($\sum F_{it}=N$), promedio de UFC g^{-1} de suelo por género, subtotal de los promedios de UFC g^{-1} de suelo por grupo y total de los promedios de UFC g^{-1} de suelo de la microbiota edáfica, en los agroecosistemas de las comunidades de Los Chiles y La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	97
	111
	144
	145

ÍNDICE DE GALERÍA FOTOGRÁFICA

Figura G1. Loma compartida por los agroecosistemas colindantes El Mono y Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	10
Figura G2. Encuentro de intercambio interdisciplinario horizontal de saberes y haceres, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	12
Figura G3. Marcha hacia la parcela para consolidar el intercambio horizontal de saberes y haceres para evaluar indicadores físicos y químicos de los suelos, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	12
Figura G4. Práctica para la determinación de la profundidad del suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	
Figura G5. Práctica de extracción de la muestra para la determinación de la densidad aparente del suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	13
Figura G6. Práctica para la valoración del contenido de materia orgánica del suelo mediante el efecto del agua oxigenada al 10%, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	14
Figura G7. Práctica para la determinación de la infiltración del agua en el suelo, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	15
Figura G8. Práctica para la determinación del pH del suelo a través de cinta, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	16
Figura G9: Intercambio horizontal de saberes y haceres para el muestreo de la macrofauna en la hojarasca y en el monolito 25cm*25cm*30cm, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	16
Figura G10. Primer estrato (10 cm) del monolito de 25cm*25cm*30cm para el muestreo de la macrofauna, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	17
Figura G11. Práctica de extracción de los organismos de la macrofauna para su identificación, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	
Figura G12. Identificación de los individuos de la macrofauna en el laboratorio de la Sede Juigalpa-UNA.	19
Figura G13. Elaboración de las bases de datos electrónicas de la metodología de Vázquez (2013), de los parámetros del suelo, la macrofauna y de la microbiota edáfica, en la Sede Juigalpa-UNA.	36
Figura G14. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis de la bachillera Anielka Paola Mendoza, Sede Juigalpa-UNA.	37
Figura G15. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis del bachiller Juan Noel Castro Guzmán, Sede Juigalpa-UNA.	38
Figura G16. Exposición y firma del acta de la defensa de la tesis del bachiller Álvaro Reynaldo Gómez López, Sede Juigalpa-UNA.	
Figura G17. Agricultor Ángel Alberto Martínez Sánchez (Izquierda) propietario del agroecosistema Los Mangos, y el tesista Juan Noel Castro Guzmán (Derecha), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	68
Figura G18. Agricultor Julio Cesar Martínez Varela (Izquierda) propietario del agroecosistema El Recuerdo, y el tesista Álvaro Reynaldo Gómez López, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	69
Figura G19. Agricultor Patricio Maradiaga propietario del agroecosistema Jardín del Edén, La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua.	72

Figura G20. Agricultor Juan Paulo Herrera (Derecha) propietario del agroecosistema El Mono, acompañado con su colaborador agropecuario, Sr. Juan Ramón Lanuza García (Izquierda), La Azucena, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua. 155



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

ISBN 978-99924-1-048-6



9 789992 410486